

Hoja de ruta del **hidrógeno verde y derivados** en Uruguay





Hoja de ruta del **hidrógeno verde y derivados** en Uruguay

Grupo interinstitucional:



Ministerio **de Industria, Energía y Minería**
Ministerio **de Ambiente**
Ministerio **de Relaciones Exteriores**
Ministerio **de Economía y Finanzas**

Oficina **de Planeamiento y Presupuesto**
Ministerio **de Transporte y Obras Públicas**
Ministerio **de Vivienda y Ordenamiento Territorial**
Ministerio **de Defensa**

Con la colaboración de:





















Con el apoyo:



Este documento surge del trabajo del grupo interinstitucional de hidrógeno verde y derivados coordinado por el MIEM, del proceso de consulta realizado con el sector privado, sociedad civil y la academia y con el apoyo del BID durante el 2021 e inicios del 2023.

Este informe se ha elaborado con especial preocupación en el uso de expresiones y conceptos que no excluyan a las personas por su género. En algunos casos, con el fin de evitar la sobrecarga gramatical se ha utilizado el masculino genérico en el entendido de que este designa indistintamente a hombres y mujeres, sin que por ello deba interpretarse un uso sexista del lenguaje.

La referencia a este documento es: Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde y derivados en Uruguay, MIEM 2023. www.miem.gub.uy | www.hidrogenoverde.uy

El presente documento es un insumo técnico elaborado por el mencionado grupo interinstitucional para que el Estado uruguayo pueda diseñar las políticas públicas necesarias para desarrollar la industria del hidrógeno verde y derivados. En cualquier caso, el presente documento no constituye ninguna obligación legal.

Diseño: 3Vectores / Laura Scaron

Fotos: Banco de fotos del MIEM, de UruguayXXI y unsplash.com



ACRÓNIMOS

ANCAP	Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland
ANII	Agencia Nacional de Investigación e Innovación
ANP	Administración Nacional de Puertos
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CONICYT	Consejo Nacional de Innovación, Ciencia y Tecnología
DINACEA	Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental
DINAGUA	Dirección Nacional de Agua
DRI	Reducción Directa de Hierro (Direct Reduced Iron, en inglés)
Energía Eólica *Offshore*	Energía generada por aerogeneradores ubicados en el mar
Energía Eólica *Onshore*	Energía generada por aerogeneradores ubicados en tierra
ESG Factors	Factores Ambientales, Sociales y de Gobernanza (Environment, Social and Governance Factors, en inglés)
GW	GigaWatt
Gt	Gigatoneladas
e-Jet Fuel	Combustible de aviación, en este caso, elaborado a base a hidrógeno verde
LATU	Laboratorio Tecnológico del Uruguay
MA	Ministerio de Ambiente
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas
MIEM	Ministerio de Industria, Energía y Minería
MDN	Ministerio de Defensa Nacional
MVOT	Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial
MRREE	Ministerio de Relaciones Exteriores
Mt	Megatoneladas
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMI	Organización Marítima Internacional
OPP	Oficina de Planeamiento y Presupuesto
PIB	Producto Interno Bruto
SAF	Sustainable Aviation Fuel
SYNFUEL	Para este documento, combustible sintético elaborado a base de hidrógeno verde



TCO	Costo total de propiedad a la largo de su vida útil (Total Cost of Ownership, en inglés)
URSEA	Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua
USD	Dólares americanos
UTE	Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas



TABLA DE CONTENIDO



PRÓLOGO

El Hidrógeno Verde y nuevos energéticos

Una estrategia hacia la prosperidad apoyada en nuestras ventajas competitivas, el impulso a la nueva economía verde como fuente de desarrollo.

Nuestro país se ha embarcado en la segunda transición energética, que apunta al siguiente paso en la reducción del consumo de fósiles, coadyuvando al objetivo nacional de alcanzar la neutralidad en emisiones de carbono para el 2050, de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo presentada por el Uruguay en 2021. Esta segunda transición energética se apoya en tres pilares, **la eficiencia energética, la movilidad eléctrica y la electrificación de la demanda en general,** y finalmente, para los usos más difíciles de descarbonizar, **la apuesta al hidrógeno verde y sus derivados.**

El hidrógeno, cuando se produce mediante electrólisis del agua utilizando electricidad renovable, se llama hidrógeno verde. De esta manera se logra un energético que no proviene de fuente fósil, y que sirve para descarbonizar aplicaciones como el transporte carretero de larga distancia, la industria intensiva en energía, el transporte marítimo y aéreo, entre otros.

El hidrógeno es una sustancia muy utilizada desde hace muchas décadas en muy diversas aplicaciones. Por lo tanto, cuando este hidrógeno es verde todas estas aplicaciones y productos derivados del hidrógeno generarán soluciones verdes, no dependientes de fuente fósil.

Así, se puede usar el hidrogeno en una celda de combustible, para regenerar electricidad, sea para energizar una radiobase celular en un territorio alejado, sea para mover un vehículo eléctrico (los llamados vehículos a hidrógeno), entre otras aplicaciones de las celdas de combustible. Se puede también sustituir el gas natural en muchas aplicaciones que requieren producción de calor. Se puede también hidrogenar aceite vegetal y producir HVO, un precursor de combustibles sintéticos, verdes. O también, se puede usar el hidrógeno para reducir óxido de hierro (mineral de hierro extraído de minas) y producir así hierro (Direct Reduction Iron = DRI) y también acero sin usar fósiles, uno de los procesos industriales más difíciles de descarbonizar.

Pero también, y aquí es donde el país tiene una oportunidad propia, se puede combinar el hidrógeno con anhídrido carbónico (CO_2) de origen biológico (CO_2 biogénico) y producir metanol, que será metanol verde, y a partir de él gasolina, gasoil o jet de aviación, combustibles idénticos a los conocidos, pero sintéticos, es decir que no provienen del petróleo.

Nuestro país posee una importante producción de CO_2 biogénico, tanto por las plantas de biomasa, que queman deshechos forestales o agrícolas para producir electricidad, como por los procesos de producción de biocombustibles, que emiten CO_2 como resultado de la fermentación, u otros procesos agroindustriales. Podemos entonces producir estos nuevos energéticos, sustitutos exactos de los combustibles convencionales, a partir de nuestros recursos renovables (que se transforman en hidrógeno verde) y de deshechos de nuestras cadenas agroindustriales.

¿Podemos producir la electricidad renovable que se requiere? Nuestro país posee mucho más recursos renovables sobre su territorio de los que necesitaría para soportar sus necesidades actuales y futuras. Como se ha demostrado, el viento y el sol en nuestro territorio son idóneos para generar electricidad renovable, pero además, su potencial de acuerdo a todos los estudios es mucho mayor que lo que nuestro sistema eléctrico necesitará en el futuro. El viento y el sol, en Uruguay, son recursos complementarios, porque generalmente su mayor intensidad se da en momentos diferentes del día, y en



estaciones diferentes del año. O sea, combinando ambas fuentes se obtiene una generación de electricidad más estable que tomando solamente una de ellas. Pero además, las mejores locaciones para la fuente solar y eólica están aproximadamente en las mismas zonas, que además son cercanas a las que tienen abundancia de CO_2 biogénico.

También el agua en nuestro país es muy abundante, y su uso para la estrategia de hidrógeno verde será muy inferior a los usos actuales, agrícola, industrial, residencial que se registran hoy. Como se verá en detalle, Uruguay es un país donde el desarrollo de esta industria no afectará el recurso acuífero, si se maneja de manera profesional y buscando la sustentabilidad de los diferentes cursos y reservorios acuíferos.

Finalmente, es bien conocida la estabilidad del país, su marco legal transparente, su ambiente de negocios atractivo, su reputación de cumplir los contratos y de honrar sus compromisos. Es por lo tanto, un lugar atractivo para estos grandes proyectos.

Si el país tiene abundantes recursos para generar electricidad renovable, tiene agua y tiene CO_2 biogénico, y en volúmenes muy superiores a las demandas que nuestra economía requerirá, es el lugar adecuado para desarrollar una nueva industria exportadora de productos energéticos verdes, capaz de captar inversión en proyectos de gran porte, capaz de aportarle al mundo insumos adecuados para la transición energética que se necesita.

Uruguay desarrollará una nueva industria exportadora de energéticos verdes, una industria a partir de recursos autóctonos, pero una industria que agregará valor, generará empleo, atraerá inversiones y tecnología. Nuestra estrategia de transición energética se transformará en una nueva fuente de valor agregado para la economía nacional, con un potencial similar a nuestros tradicionales rubros de exportación. Lo más importante, esta industria aportará al bienestar para nuestra gente, con empleos de calidad, con obras e inversiones, una industria territorialmente descentralizada, un verdadero nuevo eslabón en nuestras cadenas agroindustriales. Es una gran oportunidad que tenemos que poder aprovechar, que nos posicionará en un lugar de liderazgo a nivel mundial. Un paso en el camino al desarrollo. No podemos dejarla pasar.

Omar Paganini,
Ministro de Industria, Energía y Minería







1. RESUMEN **EJECUTIVO**



1. RESUMEN EJECUTIVO

Las ambiciosas metas de descarbonización para 2050, establecidas a nivel global, llevan a la necesidad de impulsar cambios acelerados y significativos, tanto respecto a las fuentes de energía utilizadas como al uso de materias primas consumidas en distintos procesos industriales.

Nuestro país prácticamente ha descarbonizado su matriz eléctrica, y se ha posicionado en un lugar destacado a nivel mundial, con una participación de más de 90% de energías renovables (94% en el periodo 2016-2022). Para continuar con este logro, el desafío a nivel local es descarbonizar el resto de la matriz energética (hoy con un 40% aproximadamente de origen fósil), en los sectores de transporte y la industria principalmente.

Para ello, tanto a nivel local como a nivel global, la transición energética baja en emisiones, requiere de nuevas fuentes de energía. Esto se debe a que en determinados sectores de actividad, las emisiones son muy difíciles de reducir al no poder utilizar energía eléctrica renovable directamente (por ejemplo sector marítimo, de aviación o algunos sectores industriales). Esto implica que se deben realizar mayores esfuerzos para diversificar las fuentes de energía renovable teniendo mayor resiliencia a lo largo del tiempo y una disminución de los riesgos futuros.

En este marco, la producción de nuevos energéticos más renovables y en particular el hidrógeno verde, producido a partir de agua y energías renovables y con capacidad de descarbonizar distintos usos (transporte, industria, generación de energía y materias primas), se ha posicionado como un vector energético de gran relevancia en la agenda global. En un escenario proyecta-



do de alta demanda tanto en Europa como en el este asiático, habrá países que serán importadores y países que serán exportadores de hidrógeno de bajas emisiones. Uruguay tiene las condiciones para ubicarse entre estos últimos.

Este documento presenta las potenciales áreas claves de desarrollo de la economía del hidrógeno verde y derivados para el país, las metas que se podrían alcanzar así como los principales desafíos a abordar. El análisis fue realizado en base a la disponibilidad de recursos a nivel nacional, el avance del desarrollo tecnológico, la investigación de las condiciones de mercado, el análisis de competidores y los beneficios socioambientales que podría generar para el país.

La calidad, abundancia y complementariedad de los recursos eólico y solar del país, permitirían dar continuidad al proceso de transición energética alcanzando costos competitivos en la producción de hidrógeno a escala. Para 2030, los costos de producción de hidrógeno verde podrían alcanzar 1,2- 1,4 USD/kg, con un potencial de instalación de energías renovables mayor a los 90 GW de potencia en los sitios con mejores recursos eólico y solar.

Por otra parte, el país tiene especial potencial de producir nuevos productos en base a hidrógeno verde como combustibles, materias primas para la industria y fertilizantes, verdes. Para ello se requiere dióxido de carbono (CO_2) de origen vegetal, que podría obtenerse de industrias nacionales que utilizan biomasa sostenible en sus procesos productivos. Los productos derivados del H2, podrían utilizar la infraestructura logísitca y puertos disponibles en el país para la comercialización y exportación.

La experiencia de décadas en desarrollo de proyectos de energías renovables; marcos regulatorios sólidos; estabilidad política, institucional y legal, y solidez macroeconómica hacen de Uruguay un lugar atractivo para la inversión sostenible y en particular para el desarrollo de proyectos de hidrógeno y derivados, para el mercado local y la exportación.

En este marco y en base a una gestión racional y equilibrada de sus recursos naturales, el Uruguay podría apuntar, en una primera fase, a un **mercado doméstico para uso de hidrógeno y derivados para el transporte pesado y de larga distancia así como para la producción de fertilizantes verdes.** Este mercado podría impulsarse a través de un **mercado exportador de derivados del hidrógeno como los combustibles y materias primas verdes.** En la última etapa se podría llegar a exportar directamente hidrógeno y amoníaco verde, así como desarrollar la producción de hidrógeno verde offshore (en el mar).

Al 2040, la producción de hidrógeno podría acercarse a **un millón de toneladas por año**. Esto requerirá una instalación de aproximadamente **18 GW en energías renovables y 9 GW en electrolizadores.**





Dentro de los principales desafíos se requiere realizar una planificación coordinada y ordenada, generando las reglamentaciones que den certezas tanto a la población como a los desarrolladores de proyectos, en articulación con las distintas instituciones nacionales. Será necesario impulsar un plan de comunicación y participación ciudadana, generar capacidades a nivel nacional, promover la investigación e innovación y analizar la necesidad de infraestructuras comunes desde las etapas iniciales de desarrollo.

El hidrógeno verde y sus derivados representan una oportunidad de facturación para Uruguay de aproximadamente 1900 millones de dólares anuales a 2040.

El desarrollo de la industria de hidrógeno verde podría generar más de 30 000 puestos de trabajo directos calificados en construcción de plantas, operación y mantenimiento, logística y educación técnica. Podría permitir el desarrollo de un nuevo sector de crecimiento socio-económico y aportar a la descarbonización de otras actividades productivas nacionales.

El desarrollo de una economía de hidrógeno verde a nivel nacional aportará a la diversificación de la matriz productiva nacional, al aumentar el valor agregado a través de un nuevo eslabón industrial y desarrollar el potencial exportador a nuevos mercados a nivel mundial, con la consecuente contribución significativa al crecimiento económico.

El Estado uruguayo ubica al hidrógeno verde como un instrumento prioritario en su programa de sostenibilidad.

2.
COLABORACIÓN Y METODOLOGÍA



2. COLABORACIÓN Y METODOLOGÍA

Uruguay comenzó a trabajar en el desarrollo del hidrógeno verde en 2018, a partir de la formación de un grupo compuesto por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) y las empresas públicas de energía ANCAP y UTE. En esta primera etapa se entendía el desarrollo del hidrógeno verde como un paso natural para el país, luego de haber culminado la descarbonización de la matriz eléctrica. Se vislumbraban las oportunidades que se generarían a mediano y largo plazo en la descarbonización del sector energético (transporte carretero pesado, marítimo y aéreo; industria, etc.) y de las materias primas, lo que se suma a la ventaja de constituir un vector energético que permite distribuir energía renovable entre sectores y regiones. El foco de ese momento estuvo puesto en el análisis de la producción de hidrógeno verde a partir de energías renovables y su uso en el transporte pesado y de larga distancia, en lo que se llamó el Proyecto Verne.

En 2020, el MIEM toma el liderazgo del hidrógeno verde y comienza a trabajar con un grupo interinstitucional de hidrógeno con diferentes ministerios e instituciones del Estado. En ese mismo año se trabajó junto con el puerto de Róterdam (PoR), Países Bajos, en la realización de estudios preliminares que permitieron identificar el potencial que tenía Uruguay para ser un país productor y exportador de hidrógeno verde y derivados hacia Europa. Durante todo el proceso se recibió constante apoyo y estrecha colaboración del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la realización de una publicación con las primeras conclusiones de dicho trabajo (Banco Interamericano de Desarrollo, 2021).

Durante 2021 se avanzó en el desarrollo de la presente hoja de ruta. En primera instancia se contrató a Mc-Kinsey & Company (de acuerdo con el contrato C-RG-T3777-P001 concluido con el BID) para la realización de estudios técnicos que dieran soporte a este documento[1].

Como parte de este proceso, se desarrollaron tres instancias de intercambio con actores relevantes del sector (mesas de trabajo), que incluyeron la participación de más de 70 representantes del ámbito nacional e internacional en cada encuentro. A continuación se detalla el alcance de cada una de ellas.

Mesa 1: ***Oferta y demanda de hidrógeno verde y derivados.*** Costos de producción en Uruguay: costo nivelado de energía eléctrica (LCOE, por sus siglas en inglés), costo nivelado de hidrógeno (LCOH, por sus siglas en inglés) y costo de derivados de hidrógeno. Potencial mercado doméstico y de exportación.

Mesa 2: ***Habilitadores y barreras.*** Aspectos regulatorios, permisos, financiamiento, acuerdos bilaterales, infraestructura requerida, necesidades de formación y participación social.

Mesa 3: ***Propuesta inicial de hoja de ruta de hidrógeno verde.*** Hitos principales, beneficio socioeconómicos, análisis de riesgos.

El borrador de Hoja de Ruta fue lanzado públicamente el 14 de junio de 2022 y puesto en consulta pública mediante distintos mecanismos:

1. Se publicó en la WEB del MIEM y se recibieron aportes de la ciudadanía durante un periodo de un año.
2. Se realizaron talleres con la sociedad civil, el sector académico y el sector privado vinculados a la temática entre los meses de agosto a noviembre 2022.
3. El MIEM presentó el documento a los principales partidos políticos, al Congreso de Intendentes y a Senadores, Diputados en el ámbito de la Comisión de Ciencia, Innovación y Tecnología del Congreso Nacional.

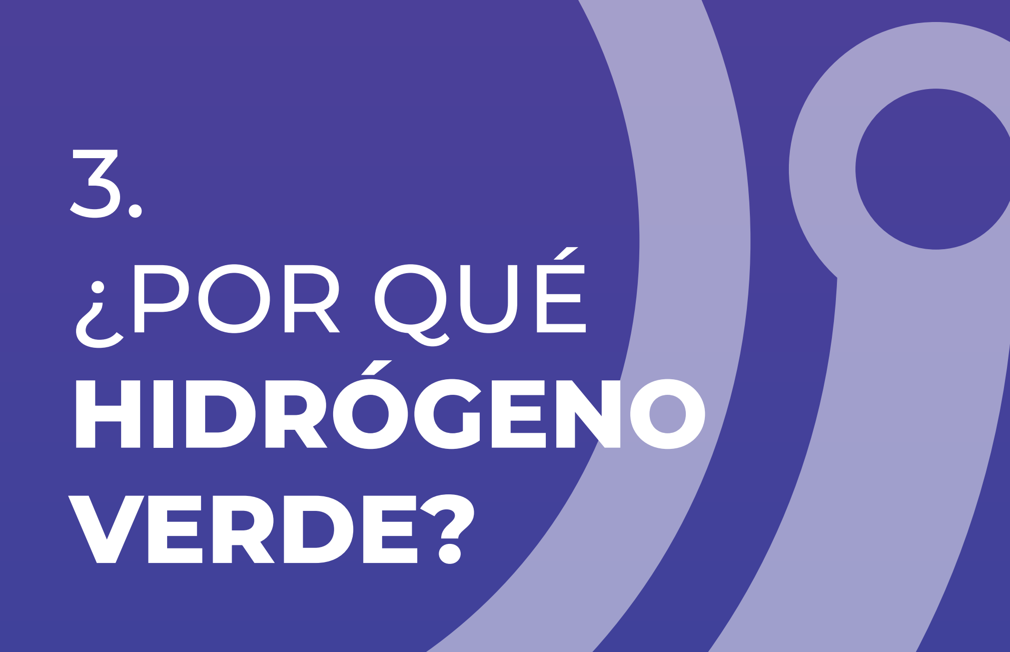
1 Un mayor detalle de estos insumos se puede ver en: https://publications.iadb.org/es/hidrogeno-verde-y-el-potencial-para-uruguay-insumos-para-la-elaboracion-de-la-hoja-de-ruta-de



Durante el periodo de elaboración de la Hoja de Ruta, el grupo interinstitucional lo integraron el MIEM, el Ministerio de Ambiente (MA), el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), Ministerio de Defensa Nacional (MDN), la Administración Nacional de Puertos (ANP), la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), Uruguay XXI, ANCAP, UTE y el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU).

Luego del este proceso de análisis e intercambio con actores relevantes a nivel nacional e internacional, se concluye que Uruguay tiene muy buenas condiciones para el desarrollo de la economía del hidrógeno verde y derivados, tanto para su uso a nivel local como para la exportación. A partir de esa conclusión es que se plantea la presente hoja de ruta a 2040 y se aprueba la resolución presidencial 294/2022[2] que impulsa el programa H2U e institucionaliza un grupo interinstitucional de trabajo más amplio.

2 https://www.gub.uy/presidencia/institucional/normativa/resolucion-n-294022-se-encomienda-ministerio-industria-energia-mineria



3.
¿POR QUÉ **HIDRÓGENO VERDE?**



3. ¿POR QUÉ HIDRÓGENO VERDE?

El hidrógeno verde es clave para lograr las ambiciosas metas de descarbonización a nivel global, en particular para aquellos sectores donde es más difícil reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El hidrógeno es muy versátil ya que puede utilizarse directamente o combinarse con otros elementos para producir nuevos productos. Es de aplicación para los sectores de transporte terrestre, marítimo y aéreo así como para uso industrial, generación de energía y producción de materias primas.

3.1. Situación global

De acuerdo a los estudios del Panel Intergu- bernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), para limitar el calentamiento global a menos de 1,5° C el mundo debe lograr ser carbono neutral en el año 2050 (IPCC, 2018).

El 80,2% de la energía global que se consume proviene de fuentes fósiles (Renewables - REN 21, 2021). Su demanda continuará en aumento, dado que la población mundial mantiene una tendencia creciente y se proyecta un mayor desarrollo económico. Por tanto, es urgente y prioritario acelerar una transición energética baja en carbono.

A nivel global y en el marco del Acuerdo de París (2016), en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, cada país establece medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Muchos ya han fijado el objetivo de ser carbono neutrales para 2050 (Naciones Unidas, Cambio Climático, 2022) y se están desarrollando las regu- laciones en este sentido (Comisión Europea – Acción Climática, 2022).

Como consecuencia, las industrias están realizando anuncios en esta línea. Las principales marcas de la industria automotriz han anunciado que sus vehículos serán emisiones cero al año 2050, y algunas de ellas in- cluso antes (General Motors, 2022). Las compañías de transporte marítimo y de aviación han comenzado a desarrollar sus planes de descarbonización para incorporar hidrógeno y combustibles verdes sintéticos de forma gradual en sus flotas (Maersk, 2022; Airbus, 2022; Boeing, 2022).

Otras industrias energéticas también han anunciado que serán emisiones cero al año 2050, incluso empresas que tienen su negocio principal en la venta de hidrocarburos (Shell, 2022; British Petroleum, 2022).

El hidrógeno, generado a partir de fuentes de energía de bajas emisiones, tiene un papel central para alcanzar emisiones netas cero para el año 2050. Puede evitar 80 Gigatoneladas (Gt) de emisiones acumuladas de dióxido de carbono (CO_2) y el 20% de la reducción necesaria en 2050. Esto requiere el uso de 660 millones de toneladas de hidrógeno renovable y bajo en carbono, equivalente al 22% de la de- manda global de energía final en 2050 (McKinsey & Company, 2022).

La estimación de la demanda de hidrógeno y derivados en Europa y algunos países asiáticos es tan elevada que será necesaria su importación desde otros sitios más lejanos para lograr cumplir con las metas establecidas (World Energy Council, 2021).



3.2. **Roles del hidrógeno verde en la transición energética**

El hidrógeno verde aporta en diversos aspectos a la transición energética que se encuentra en curso a efectos de asegurar el cumplimiento de las metas ambientales establecidas al año 2050. La principal contribución que se ha identificado se refiere a que su producción y uso permitirían la descarbonización de usos finales de energía y materias primas que son difíciles de lograr por otra vía o que no se pueden realizar de forma directa con energías renovables o a través de la electrificación directa.

Por una parte, el uso de este vector energético posibilita distribuir energía en otros sec- tores. Es así que, partiendo de energía eléctrica de origen renovable, es posible producir hidrógeno y utilizarlo en aplicaciones que incluyen una amplia variedad de usos, tales como la producción de combustible para la movilidad en vehículos pesados y derivados de hidrógeno para uso marítimo y en aviación, la síntesis de amoníaco para fertilizantes, la obtención de calor industrial, en algunas condiciones climáticas, el acondicionamiento térmico de edificaciones, y la reducción de hierro en forma directa para producción de acero, etc. (ver figura 1).

PRODUCCIÓN | TRANSFORMACIÓN | TRANSPORTE | USO FINAL

Energía renovable
Electrólisis
H2
Captura sustentable de CO_2
CO_2 + H2
N_2 + H2

Sin transformación
H2
Metanol y combustibles verdes
Amoníaco verde
NH_3

Marítimo
Camiones
Tubería
Almacenamiento

INDUSTRIA H2 NH_3
Industrias de acero
Industrias químicas
Refinerías
TRANSPORTE H2 NH_3
Marítimo
Aviación
Automóviles
Trenes
Camiones
Autobuses
CALENTAMIENTO H2
GENERACIÓN DE ENERGÍA H2 NH_3

Figura 1: Usos del hidrógeno en distintos sectores como fuente de energía o materia prima.
Fuente: Basado en documento de la Agencia Internacional de Energía, "Green Hydrogen: A guide to policy making" (International Renewable Energy Agency, 2020).



Otra vía mediante la cual el hidrógeno verde contribuye a la transición energética refiere al aumento de la resiliencia del sistema energético, al permitir la integración de energías renovables a gran escala.

El uso de hidrógeno verde y sus derivados como vectores energéticos permite al transporte de energía verde entre regiones ya que es posible trasladarlo a lo largo de grandes distancias, de forma similar a como hoy ocurre con otros energéticos (por ejemplo, el petróleo o el gas natural licuado). De este modo, sería posible transportar energías renovables en la forma de hidrógeno verde, derivados o productos verdes desde regiones del planeta que cuenten con la posibilidad de producir energías renovables en abundancia y de manera económica hacia áreas con déficit de recursos (o de superficie para su transformación) o en las que, directamente, su producción resulte muy onerosa. La acumulación de hidrógeno y derivados en grandes cantidades y por largos períodos permite incrementar la participación de energías renovables en el sistema energético y contribuir al funcionamiento continuo de la red, equilibrando los picos y valles de la demanda eléctrica, y almacenando energía en momentos de elevada disponibilidad y bajo costo para despacharla en momentos en que la demanda lo requiera. Adicionalmente, aportaría a la diversificación de los recursos energéticos en las diferentes regiones, al permitir el uso de los recursos más atractivos y rentables. En otro orden, puede dar mayor seguridad a los distribuidores al momento de garantizar el suministro continuo a instalaciones esenciales (por ejemplo, servicios de salud y centros de datos, entre otros (Hydrogen Council, 2021).

Dentro del sector eléctrico también permitiría, en forma complementaria, la generación de energía eléctrica a partir del hidrógeno o derivados, aportando a lograr el equilibrio estacional, el respaldo para fuentes renovables variables y el funcionamiento de forma continua en la base.



En otro orden, colaboraría con que los países que no pueden generar su propia energía eléctrica a partir de fuentes renovables importen hidrógeno o derivados y lo utilicen como insumo en esa actividad de generación eléctrica de origen renovable (Hydrogen Council, 2021).

Finalmente, el hidrógeno verde contribuiría a la transición en curso al dotar de mayor seguridad energética a los países en el mediano plazo, dado que podrá ser producido localmente o, eventualmente, ser importado de un significativo número de países productores distribuidos en múltiples regiones geográficas. Lo anteriormente descrito se contrapone con el sistema energético actual, en que los combustibles fósiles (80% de la ma triz energética mundial) (Renewables - REN 21, 2021) son producidos por un conjunto acotado de países, a precios sujetos a variaciones por causas que los importadores no controlan.

Todo este conjunto de posibilidades se irán desarrollando a lo largo del tiempo, algunas con mayor grado de consolidación que otras, en base a las inversiones tecnológicas que se encuentran hoy en ejecución a nivel global, en base a los costos de producción que se obtengan a escala comercial y a la profundización de los mercados internacionales.

3.3. **Agua e hidrógeno verde**

El agua necesaria para la producción de hidrógeno verde es utilizada en los electrolizadores y como insumo en el proceso industrial.

Para la producción de hidrógeno se puede utilizar cualquier tipo de agua. Las fuentes de agua pueden ser superficiales o subterráneas, dulces o saladas e inclusive agua residual. Independientemente de la fuente utilizada, es necesario contar con una planta de purificación de aguas para eliminar impurezas que puedan interferir en el proceso de electrólisis. El volumen de agua utilizado en la electrólisis, dependerá de su fuente y del acondicionamiento necesario para este proceso.

Por otra parte, durante el proceso de electrólisis se genera calor y es necesario realizar un proceso de enfriamiento. Existen distintas tecnologías para ello, la más utilizada, circula agua en un circuito cerrado con una pequeña reposición de agua fresca.

De esta forma, de acuerdo a la escala de producción y la disponibilidad de agua en la ubicación del proyecto, el uso de agua es diferente y puede recurrir a una combinación de distintas fuentes.

Si bien estequiométricamente la demanda de agua se estima en 9 litros por kg de hidrógeno, de forma un poco más conservadora se considera que el uso del agua puede variar entre 18 y 30 litros, dependiendo de la fuente y de la tecnología utilizada (Irena, 2023).

Estos valores representan un uso de agua comparable a otros emprendimientos industriales y significativamente menor al agua utilizada para riego y otras actividades productivas.

4.

¿POR QUÉ **HIDRÓGENO VERDE** EN URUGUAY?



4. ¿POR QUÉ HIDRÓGENO VERDE EN URUGUAY?

En Uruguay, el desarrollo del hidrógeno verde es un paso natural en su proceso de descarbonización, luego de que disminuyera significativamente el uso de los combustibles fósiles en la matriz eléctrica. Además, el país cuenta con ventajas competitivas importantes para ser un productor relevante de hidrógeno verde y derivados, tanto para el mercado local como para la exportación.

4.1. Un país que impulsa estrategias sostenibles

En lo que se identifica como la primera transición energética, Uruguay ha alcanzado prácticamente la descarbonización de la generación de energía eléctrica. Lo anterior se traduce en una participación promedio de renovables en la matriz eléctrica mayor al 90% (94% en el período entre 2016 y 2022), si bien la cifra varía según las características climáticas de cada año (ver figura 2). De esta forma, el país ha disminuido significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector energético.

La segunda transición energética en Uruguay incluye entre otros desafíos la descarbonización del resto del sector energético (transporte e industria), así como de las materias primas de uso industrial e impulsar el desarrollo de nuevos energéticos como el hidrógeno verde y sus derivados, mantener la alta participación de energías renovables en la matriz eléctrica y un uso más eficiente del sistema eléctrico.

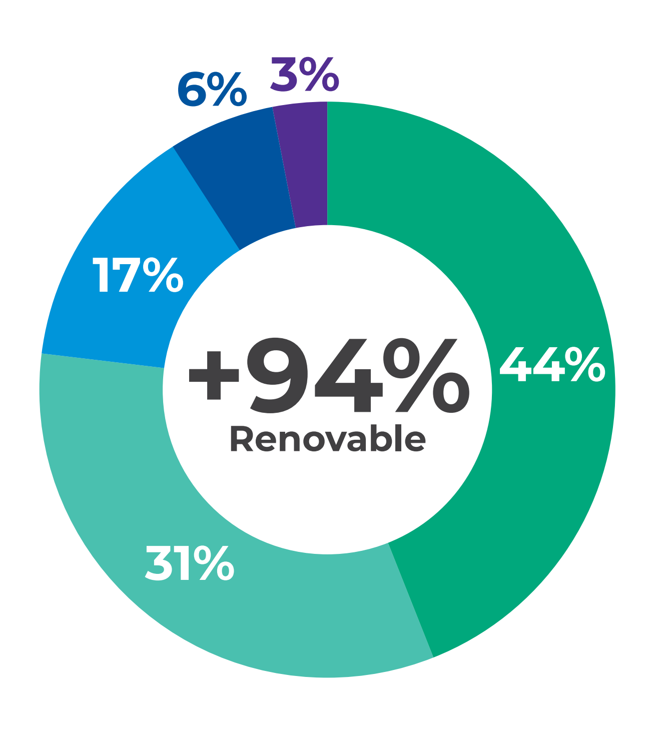


Figura 2: Generación de energía eléctrica en Uruguay - Promedio de los años 2016 a 2022.
Fuente: MIEM (ben.miem.gub.uy).



4.1.1. Política energética y primera transición

En 2008 Uruguay presentó su estrategia energética, en la que se explicita su compromiso con las energías renovables y la eficiencia energética. Esta política busca, por un lado, trascender la tradicional visión reduccionista basada en el análisis técnico-económico, al incorporar adicionalmente al análisis las dimensiones geopolítica, ambiental, social, ética y cultural. Por otra parte, esta política pública promueve la mirada y la planificación de largo plazo. Quizá su hito más relevante sea el acuerdo alcanzado en el año 2010 entre todos los partidos políticos con representación parlamentaria, que sentó las bases para la construcción de una política de Estado en el sector.

Como consecuencia de la ejecución de esta política, Uruguay prácticamente ha descarbonizado su matriz eléctrica, complementando la tradicional participación de la energía hidroeléctrica con la incorporación de energía eólica, solar y proveniente de la biomasa.

La alta penetración de las energías renova- bles en la matriz eléctrica ha permitido posicio- nar a Uruguay como un jugador de clase mun- dial en la transición energética. El país se ubica en el puesto número 13 en el ranking Índice de Transición Energética y es el líder de la región (Foro Económico Mundial, 2021).

En línea con su política sostenible, Uruguay se ha propuesto una Estrategia Climática de Largo Plazo a 2050 (Ministerio de Ambiente Uruguay, 2021), en la que el hidrógeno verde y sus deriva- dos son utilizados para el transporte de carga pe- sada y de pasajeros de larga distancia, así como para algunos usos industriales. Consecuentemente, tanto para consumo doméstico como para exportación, el hidrógeno verde jugará un rol relevante para el país en el corto y largo plazo.

4.1.2. Políticas de sostenibilidad

Uruguay cuenta con un amplio y robusto paquete de políticas públicas de desarrollo sostenible, que cubren la acción por el cli- ma, la energía, la producción agropecuaria y los residuos.

Históricamente, y con independencia de los diferentes gobiernos, se ha impulsado el trabajo de forma transversal, articulando entre los ministerios productivos y de ambiente, entendiendo que la sostenibilidad solo puede desarrollarse de forma integra da y coherente con las demás dimensiones del desarrollo, incluida la social. Ejemplos de ello son las políticas de energía, cambio climático y forestal, y la ley de suelos, entre otros.

Dando continuidad a la relevancia de los temas ambientales a nivel de política de Estado, en el año 2020 se creó el Ministerio de Ambiente, para sumar a las acciones que priorizan los temas de sostenibilidad en la agenda y les dan mayor solidez institucional.

Uruguay, trabajando transversalmente a ni- vel de todos los ministerios, entes autónomos y servicios descentralizados, ha asumido la responsabilidad de guiar sus políticas públicas en torno al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con el objeto de avanzar en cada uno de ellos hacia el año 2030. Desde 2017, Uruguay ha venido presentando informes voluntarios y ha completado el segui- miento de la situación país en cada uno de los 17 ODS (Presidencia de la República, 2021).

El impulso del H2 verde permitirá acelerar los avances en los ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y 13 (Acción por el Clima), e indirectamente aportará a otros objetivos.

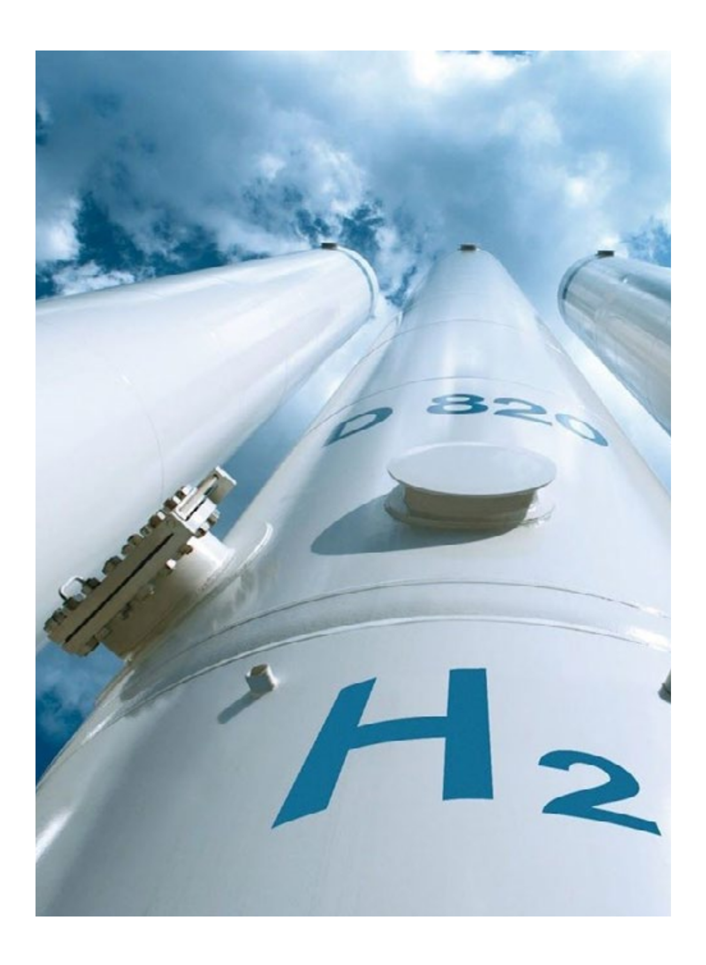


4.2. **Ventajas competitivas para desarrollar el hidrógeno verde y derivados**

A continuación se describen las principales ventajas competitivas que presenta Uruguay para ser un productor relevante de hidrógeno verde y derivados, tanto para el mercado local como para su exportación.

4.2.1. Potencial y complementariedad de energías renovables

Uruguay tiene un gran potencial para instalar nueva capacidad de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, principalmente eólica y solar fotovoltaica. El país cuenta con un muy buen recurso combinado eólico y solar, tanto por su complementariedad diaria como estacional; lo anterior permite obtener altos factores de capacidad en el electrolizador y bajos costos de producción de hidrógeno.



Según los estudios realizados, las características de las energías renovables solar y eólica en Uruguay permitirían alcanzar, en 2030, costos nivelados de energía (LCOE), con valores que se ubicarían en el rango comprendido entre 16 y 19 USD/MWh. Por su parte, la energía eólica offshore presentaría costos comprendidos en el rango entre 26 y 28 USD/MWh.

Impulsada por reducciones del Capex y mejoras tecnológicas, la tendencia de costos decrecientes se mantendría en el tiempo (aunque moderando su caída), y permitiría alcanzar en 2040 costos de hasta 11 USD/MWh para el aprovechamiento del recurso solar a través de la tecnología fotovoltaica, 15 USD/MWh para el eólico y 21 USD/MWh para el eólico offshore. Estos valores podrían variar al tomar escenarios más conservadores, dependiendo de distintas variables vinculadas al contexto internacional (materias primas y desarrollo tecnológico) y otros costos asociados a nivel nacional.

En los estudios realizados se identifican regiones del territorio nacional con distinto potencial para la generación de energías renovables (nivel I y nivel II). Las regiones que presentan mejores características (factores de capacidad de entre 25% y 28%) para la energía solar fotovoltaica (nivel I) se encuentran, en el oeste del país, en los departamentos de Artigas, Salto, Paysandú, Río Negro, Soriano y Colonia. El área disponible para el desarrollo de plantas solares fotovoltaicas en nivel I ofrecen una capacidad asociada de 60 GW. Las áreas centrales (entre Rivera y Canelones) presentan recursos de calidad media (nivel II, con factores de capacidad entre 20% y 24%), con un potencial de 135 GW adicionales.

Asimismo, para el desarrollo de plantas eólicas onshore, Uruguay presenta una capacidad de 30 GW en las áreas de alta calidad (nivel I, con vientos de 8-9 m/s), situadas en el límite entre los departamentos de Rivera, Tacuarembó y Salto, y entre Lavalleja, Florida y Treinta y Tres. El resto del territorio presenta características de calidad media (nivel II, con vientos de 7-8 m/s) y permitiría una capacidad de generación adicional de 50 GW (McKinsey & Company, 2021).

El área disponible para desarrollo de offshore permitiría la instalación de una capacidad adicional de 275 GW (Banco Mundial, 2020).



Los costos que aparecen a continuación reflejan el rango de recursos del nivel I - nivel II

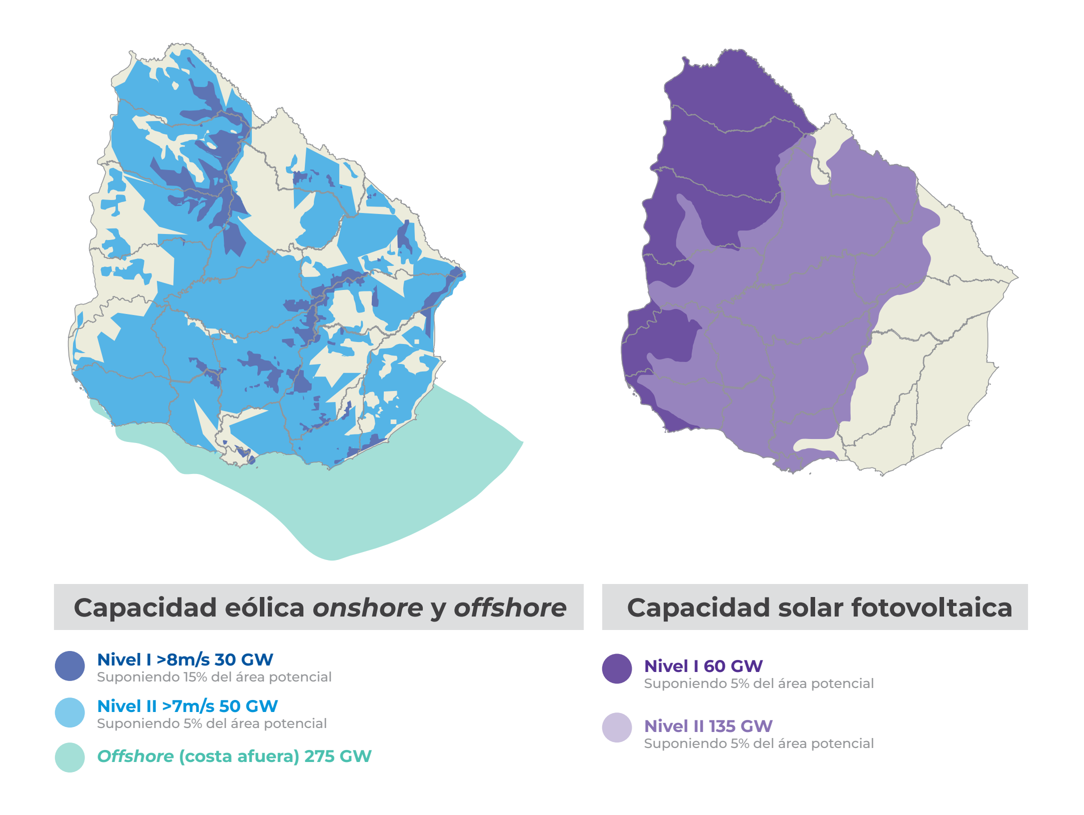


Figura 3a: Capacidades potenciales (GW) según fuente renovable.
Fuente: Atlas Solar, MIEM, McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

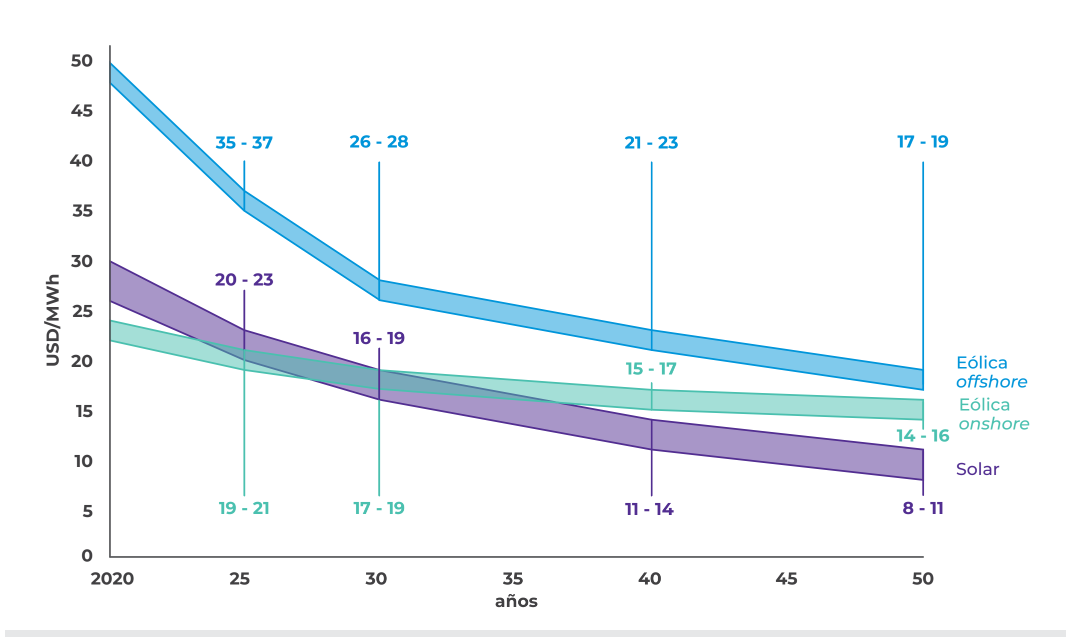
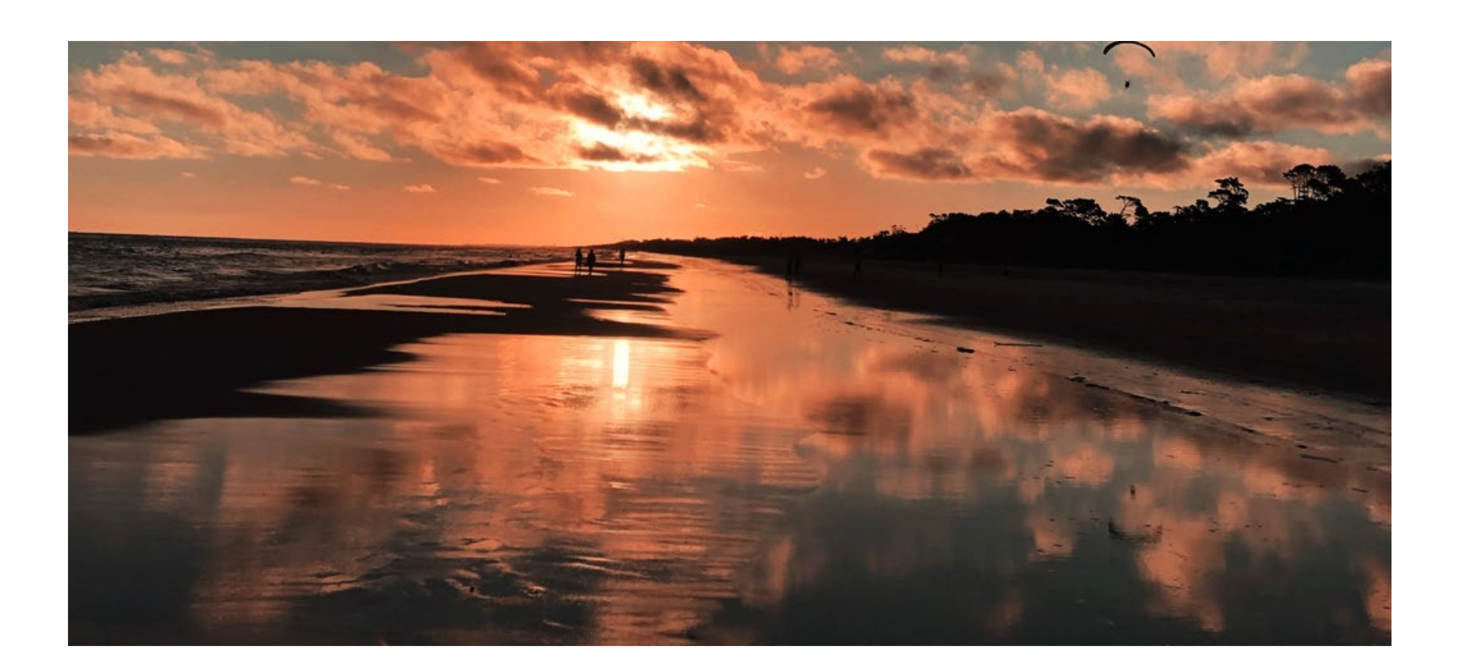


Figura 3b: Costo nivelado de energía (basado en el 5% WACC, no incluye costos de transporte) a escala (+500 MW), USD/MWh.
Fuente: Adaptado de McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.





4.2.2. Matriz eléctrica con muy alta participación renovable

Para procesos industriales que necesiten funcionar de forma continua (por ejemplo, uno de los posibles procesos para la producción de combustibles de aviación verdes), la conexión a la red eléctrica nacional, con más de 90% renovable —como se mencionó antes—, impacta positivamente en la rentabilidad de las inversiones requeridas para la producción de hidrógeno verde y derivados (plantas eólicas y solares fotovoltaicas complementada con hidráulica y biomasa). Para estos casos, la ventaja de una conexión a la red podría verse reflejada en una disminución del costo del hidrógeno de entre un 5 y un 10% respecto a una inversión únicamente a partir de instalaciones eólica y solar fotovoltaica desconectadas de la red y con acumulación de hidrógeno.

4.2.3. Disponibilidad de agua

El agua en el país se utiliza en distintas actividades, que incluyen desde el consumo humano a la producción de alimentos para consumo nacional y exportación, otros usos industriales, usos turísticos y la producción de energía.

Los usos actuales habilitados por DINAGUA para todas las actividades a nivel nacional alcanzaron los 4,4 millones de m^3 en 2022. Al momento de establecer una primera aproximación a los requerimientos de agua para abastecer la producción de hidrógeno verde y derivados en Uruguay, se consideró una demanda adicional de agua menor al 1 % del total de los permisos otorgados en la actualidad. Como toda actividad, los proyectos de hidrógeno verde a ser desarrollados, deben ser evaluados en lo que respecta al consumo de agua y contemplados en una escala espacial y temporal, considerando otros usos existentes en la cuenca y las proyecciones de desarrollo definidas en una determinada región del país.

Atendiendo la necesidad garantizar una estrategia de desarrollo de una economía del hidrógeno en Uruguay, sustentable en lo socio-ambiental, serán realizados estudios específicos para contar con información precisa en relación a los aspectos vinculados al uso de agua de este sector.

En la siguiente imagen puede observarse el consumo potencial de agua identificado para el desarrollo de toda la presente Hoja de Ruta de hidrógeno verde y derivados a 2040 y el volumen de agua habilitada por DINAGUA a nivel nacional, por año. En la figura se presenta el total de las autorizaciones otorgadas por DINAGUA, incluyendo tomas de aguas superficiales, subterráneas y embalses para distintos usos.



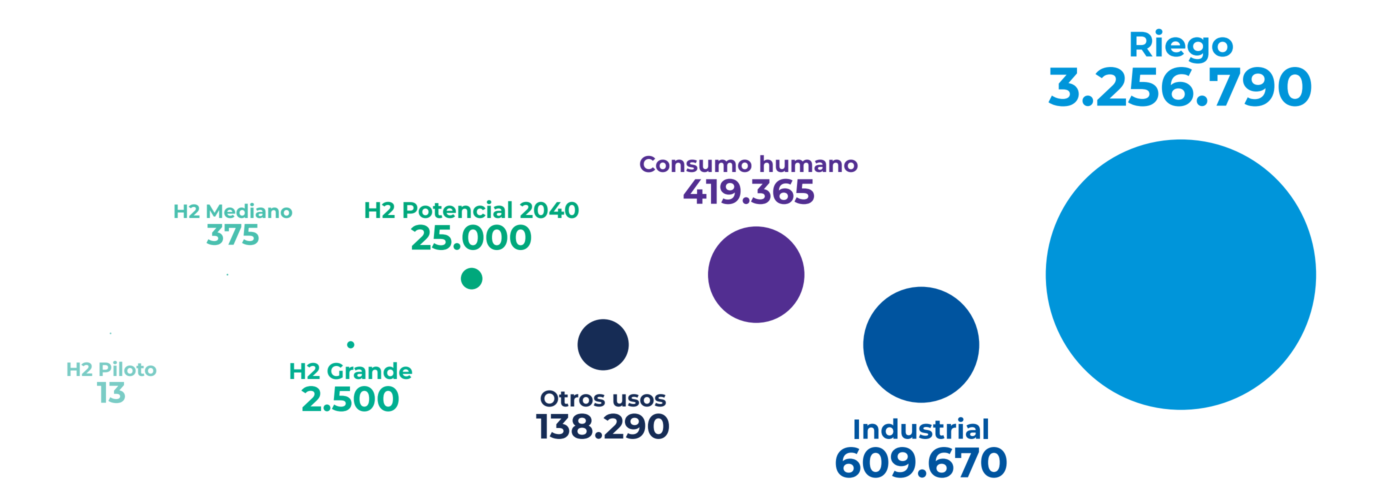


Figura 4: Consumo de agua habilitado por DINAGUA Uruguay, comparación con proyectos de H2 y potencial de la Hoja de Ruta (miles de m³ /año)

Fuente: Observatorio Hidrológico DINAGUA - Datos 2022

4.2.4. Disponibilidad de CO_2 biogénico

Para la producción de materias primas, combustibles y fertilizantes verdes obtenidos a partir de H2 y CO_2, el país cuenta con disponibilidad de CO_2 biogénico, asociada a instalaciones industriales que utilizan biomasa para producir energía. La fuente de biomasa puede provenir de distintas orígenes, por ejemplo cáscara de arroz, bagazo de caña de azúcar o residuos forestales, así como de procesos de fermentación durante la producción de biocombustibles, entre otros.

Según los estudios realizados[3], las emisiones de CO_2 estimadas para el año 2024 que podrían utilizarse para la producción de derivados de hidrógeno es de aproximadamente 11 millones de toneladas correspondientes a emisiones de CO_2 biogénico.

Las plantas industriales que producen esta fuente de CO_2 biogénico, se encuentran ubicadas en la proximidad de zonas con buena disponibilidad de recursos renovables, siendo este un aspecto relevante en la producción de los derivados del H2.

Al momento de establecer el potencial desarrollo de producción de derivados del H2, se consideró que las 3 plantas nacionales existentes de producción de pulpa de celulosa y las plantas de menor escala de producción de energía, podrían disponer de la cantidad de CO_2 biogénico necesario para la producción de derivados de H2 proyectada.

Es importante puntualizar que la producción de biomasa forestal nacional es sostenible[4]. Uruguay está muy bien posicionado en lo que respecta a certificaciones de desarrollo sustentable en la producción forestal. En Uruguay, el 80% en las plantaciones de bosques y el 100% de los productos que tienen procesamiento industrial en este sector están certificados (Sociedad de Productores Forestales del Uruguay, 2022). Con base, entre otros aspectos, en el desarrollo alcanzado por el sector forestal, y en particular por la industria asociada a esta cadena productiva, la bioenergía se ha convertido en uno de los principales energéticos a nivel nacional, la cual se visualiza se pueda acoplar sinérgicamente a la economía del hidrógeno y derivados.

3 Mercados Energéticos Consultores S.A. (GME) - "Análisis de la disponibilidad de CO_2 para la producción de derivados de H2 verde en Uruguay". International PtX Hub – GIZ, setiembre 2023).

4 A partir de una política de Estado que ha sido sostenida por todos los partidos políticos que han ocupado el Poder Ejecutivo desde 1987 a la fecha, Uruguay ha promovido el desarrollo de la forestación de manera sostenible



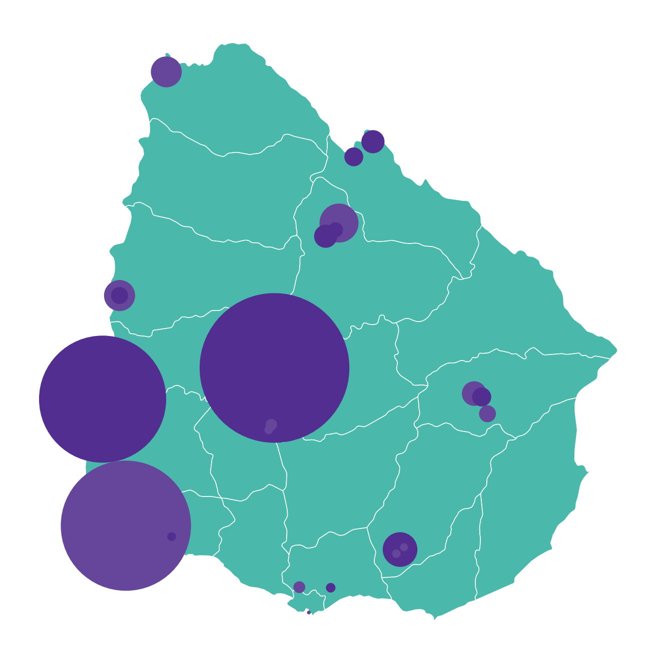


Figura 5: Disponibilidad de CO_2 biogénico industrial a nivel nacional de distintas fuentes (plantas de biocombustibles, generación de energía eléctrica, alimentos, pulpa de celulosa y cementeras)

Fuente: Mercados Energéticos Consultores S.A. (GME) - Planta Piloto de Ingeniería Química (PALPIQUI). Consultoría: "Análisis de la disponibilidad de CO_2 para la producción de derivados de H2 verde en Uruguay". International PtX Hub – GIZ, setiembre 2023.

4.2.5. Logística

Uruguay cuenta con acceso al océano Atlántico y el puerto de Montevideo que presenta presenta una oportunidad de desarrollo para la exportación de los derivados de hidrógeno como los combustibles, materias primas y fertilizantes bajos en emisiones.

El país cuenta con rutas de acceso a todo el territorio e infraestructura para el transporte local del hidrógeno y sus derivados.

Es importante señalar que la vía del Ferrocarril Central permitirá conectar la zona de mayor potencial de energías renovables con el puerto de Montevideo, brindando muy buenas oportunidades para el transporte de los derivados de hidrógeno y facilitando sus posibilidades de exportación. Asimismo, el país cuenta con transporte fluvial y carretero que pueden ayudar a mejorar la competitividad en el traslado de los productos de exportación.

Como antecedente, en el sector energético se puede mencionar que en la pasada década Uruguay afrontó y superó múltiples desafíos logísticos asociados a la construcción de infraestructura de generación, plantas industriales de gran porte y obras de transmisión, entre otros. Como indicador se señala que en 2014 el 60% de las cargas especiales (ya sea por dimensión o por peso) transportadas en el país correspondió a proyectos de energías renovables.



4.2.6. Un país para invertir

Uruguay es un país de una fuerte institucionalidad y profundo sentido republicano y respeto de la regla de derecho. Ocupa el primer puesto en América Latina en Estado de derecho (Projecto de Justicia Mundial, 2021) y en democracia plena (Unidad de Inteligencia de The Economist, 2021).

Es un país abierto a la inversión privada nacional e internacional, con reglas claras y estables, y constituye un destino confiable para hacer negocios en una de las regiones económicamente más atractivas del mundo. Por otra parte, tiene una buena estabilidad sociopolítica: se encuentra posicionado en el sexto lugar en el mundo en cuanto a las libertades civiles y políticas de su población (Freedom House, 2022), y lidera en la región en cuanto a la baja percepción de corrupción (Transparencia Internacional, 2022).

Paralelamente, ha avanzado considerablemente en la digitalización del sector público, ya que se encuentra en el puesto 26 del *ranking* del índice de Desarrollo de e-Gobierno y es primero en la región en el año 2020 (Naciones Unidas, índice de Desarrollo de e-gobierno, 2022). Cuenta con grado inversor otorgado por las principales agencias internacionales de calificación de riesgo (Standard & Poor's, Fitch Ratings, DBRS y Moody's) y ha demostrado un crecimiento sostenido del Producto Interno Bruto (PIB) durante los últimos años, a excepción de la caída en 2020, relacionada con la pandemia de covid-19 que afectó a nivel global.

Uruguay se encuentra entre las principales economías del mundo para la inversión sustentable, según el Índice ESG que elabora JP Morgan. Este tiene en cuenta la calidad de la gobernanza y los factores sociales y ambientales. JP Morgan toma los factores Ambiental, Social y de Gobierno (ESG, por sus siglas en inglés) para ponderar el indicador de riesgo país. En este sentido, Uruguay se encuentra entre las economías emergentes más confiables para invertir (ver figura 7).

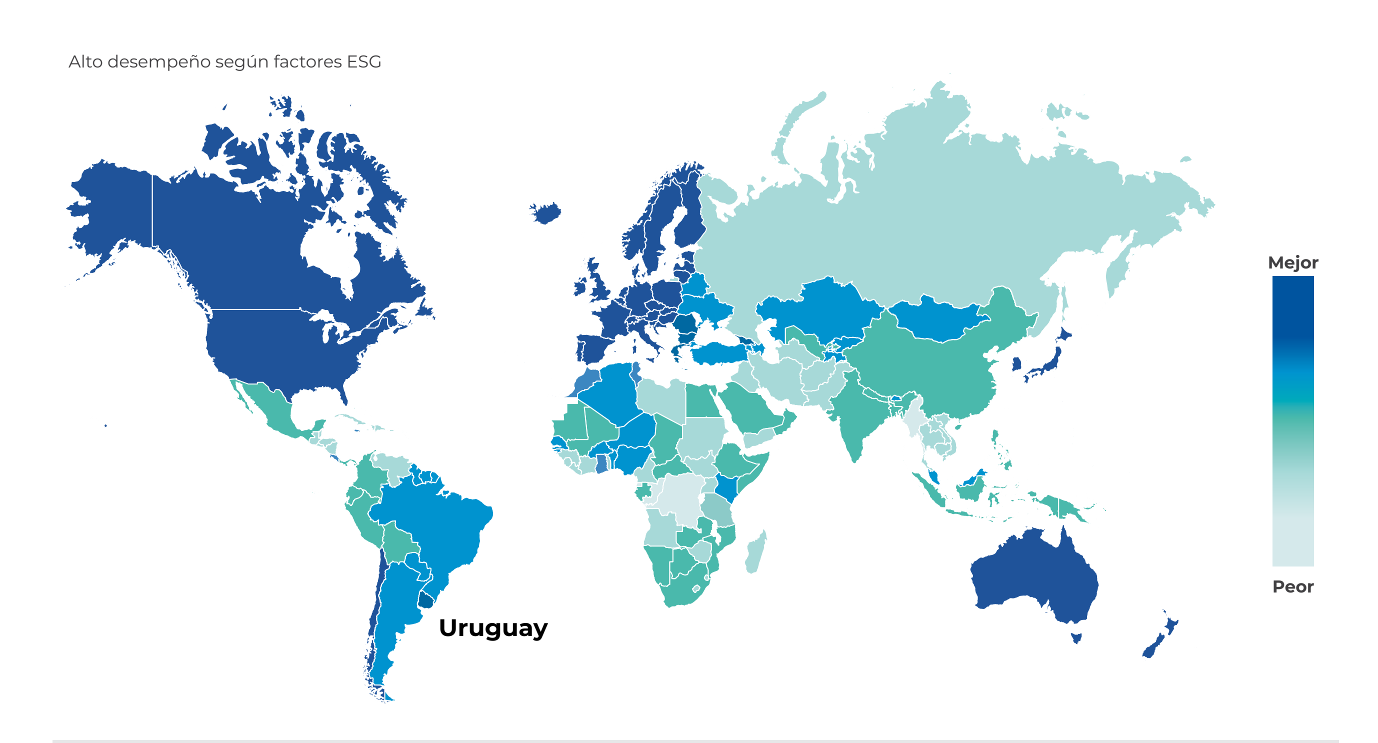


Figura 6: Mapa de desempeño de factores ESG. Ambiente, social y gobernanza. Año 2020.
Fuente: Uruguay XXI (JP Morgan Bluebay Asset Management - Verisk Maplecroft).



4.3 **Marcos regulatorios en Uruguay para la gestión sostenible de los recursos**

Tanto para los proyectos de hidrógeno como para cualquier emprendimiento que requiera del uso de recursos naturales, es necesaria una gestión responsable y sostenible bajo un marco institucional y normativo robusto.

El artículo 47 de la Constitución del Uruguay declara que la protección del medio ambiente es de interés general y que la gestión integrada de los recursos hídricos requiere de procesos participativos. Con ese mandato se plantean por ley los principios rectores de la Política Nacional de Aguas (ley 18.610 del año 2009). Asimismo, el país cuenta con normativa ambiental desde hace muchos años, con un Código de Aguas desde el año 1978, así como con un proceso de evaluación para la autorización ambiental de los nuevos emprendimientos desde 1994. El Reglamento de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental (Decreto N° 349/005 y modificativos) establece cuáles emprendimientos requieren Autorizaciones Ambientales, qué tipo de Autorizaciones corresponde aplicar, quedando los proyectos de hidrógeno verde y derivados incluidos.

En Uruguay el acceso al agua potable es considerado un derecho humano fundamental; es pública y actualmente no se cobra por su uso. Si bien el código de agua prevé la posibilidad del cobro por el uso del agua hasta la fecha no se ha instrumentado. Si bien el código de agua prevé la posibilidad del cobro por el uso del agua hasta la fecha no se ha instrumentado. Los lineamientos de la gestión integrada del agua se establecen en el Plan Nacional de Aguas y son seguidos por los planes de cuenca, en donde se establecen objetivos, programas y proyectos, con metas a corto, mediano y largo plazo, que constituyen líneas de trabajo en desarrollo desde variadas instituciones. Las obras de aprovechamientos de agua como embalses, tanques, tomas, pozos, entre otras, deben poseer un derecho de uso registrado y autorizado por la Dirección Nacional de Aguas del Ministerio de Ambiente (Dinagua). Se cuenta con procesos y criterios de autorizaciones de otorgamiento de derechos de uso de agua, considerando la disponibilidad en la cuenca y los otros derechos de usos de agua otorgados previamente, de forma de preservar el régimen hidrológico y acotar riesgos de fallos por la variabilidad.

Adicionalmente, la extracción de agua que supere los 500 l/s, los embalses que almacenan volúmenes de agua mayores a 2.000.000 m^3 o que su espejo supere las 100 ha, los pozos que extraigan más de 50 l/s, deben ser sometidos a una evaluación de impacto ambiental y requieren Autorización Ambiental Previa (AAP) por parte de la Dinacea del Ministerio de Ambiente (Decreto 349/05).

Por otra parte, el país cuenta con una Ley de Protección del Ambiente desde el año 2000 y, en ese marco, existen una serie de normas relativas a efluentes, residuos y emisiones a la atmósfera, entre otros, así como varios planes y políticas nacionales.

Finalmente, en 2008 se aprobó la Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible, que regula y ordena el uso del suelo, instrumento que localmente aplican los gobiernos departamentales y municipios. En tanto, en 2020 se creó el Ministerio de Ambiente priorizando la temática ambiental en la agenda de la política pública.



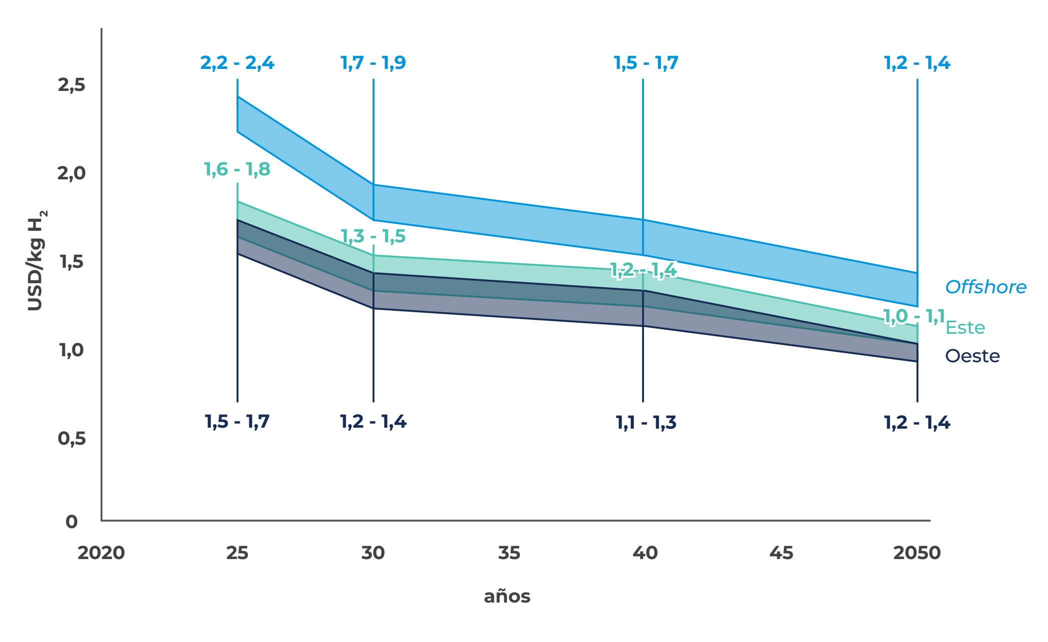
5. Producción de **hidrógeno verde** y derivados



5. **PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE Y DERIVADOS**

Los costos de renovables estimados a 2030 permitirían que Uruguay, alcance valores de producción de hidrógeno verde (LCOH) que se ubicarían entre 1,2 y 1,4 USD/kgH2 en la región oeste y de entre 1,3 y 1,5 USD/kgH2 en la región este del país, para una escala superior a 500 MW. Estos costos de producción ubicarían a Uruguay de manera competitiva como exportador de derivados del hidrógeno.

A continuación pueden observarse los costos estimados de producción de hidrógeno verde en distintas zonas del país (Este, Oeste y en el mar).

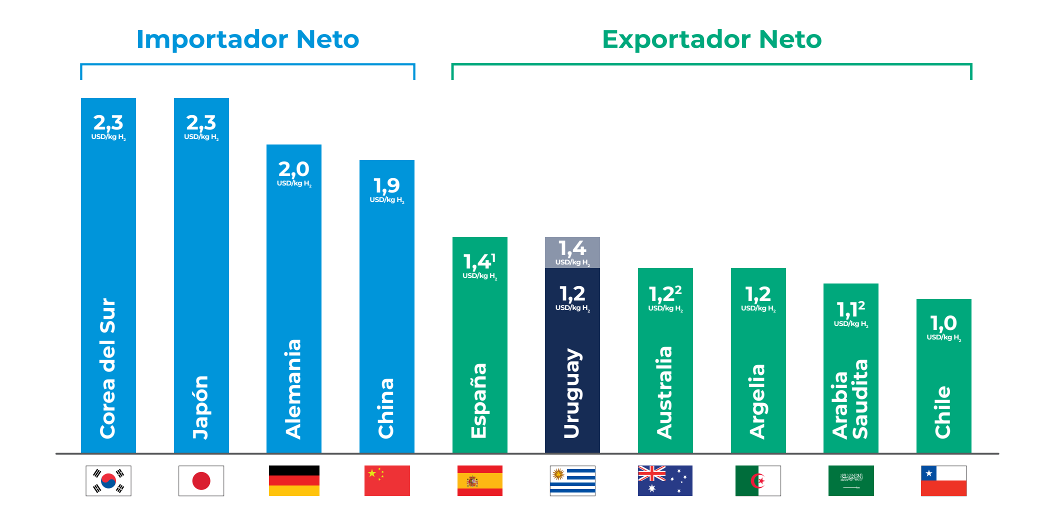


Estimaciones para caso de 250 toneladas de producción diaria mínima de H2 incluyendo energía y electrólisis (CAPEX, OPEX inc. agua). Almacenamiento, transporte o transmisión añaden 0,3 a 0,5 USD/KgH2.

Figura 7a: Curva de costo de producción para hidrógeno por región en Uruguay, USD/kgH_2

Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.





1. *Benchmark* tomado del anuncio HyDeal para costos de producción a escala, excluye costos de transporte y distribución.

2. *Benchmark* tomado de las proyecciones del Consejo de Hidrógeno; excluye costos de transporte y distribución.

Figura 7b: Comparación de costos de producción 2030 (WACC: Chile 6%, Austria 5.4%, Arabia Saudita 5.3%, España 5%) (USD/kg H2)

Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

A los costos de producción de hidrógeno es necesario agregar los logísticos: estos son la transmisión de electricidad, y transportes y almacenamiento del hidrógeno, en función de la configuración por la que se opte, atendiendo a las necesidades de su uso aguas abajo. Para proyectos de escala superior a 500 MW, el transporte y almacenamiento local de hidrógeno por gasoducto sería una de las opciones más atractivas desde el punto de vista económico. El costo asociado al transporte y almacenamiento local se ubicaría entre 0,3 y 0,5 USD/kgH2. Para estos casos, la instalación de plantas de electrólisis estaría junto a las plantas de generación de energía renovable.

El desarrollo de las infraestructuras necesarias, implementadas de manera coordinada, logrará sinergias que llevarían a una reducción del costo nivelado de hidrógeno (LCOH) de entre 4% y 6%. Esto toma en cuenta el escenario de que los ductos que transportan el hidrógeno, la transmisión eléctrica o las adaptaciones portuarias se realicen para varios proyectos, en lugar de que cada proyecto desarrolle su propia infraestructura.

Respecto a la producción de derivados, para 2030 los costos de producción de e-metanol verde y de combustible de aviación verde podrían llegar a 465 USD/t y 1.205 USD/t respectivamente, considerando fuentes industriales para el CO_2 biogénico. La competitividad de estos productos frente a los de origen fósil está vinculada a la aplicación de impuestos al CO_2 en los países importadores, así como a la definición de cuotas de productos verdes en sectores particulares, como el marítimo y la aviación.



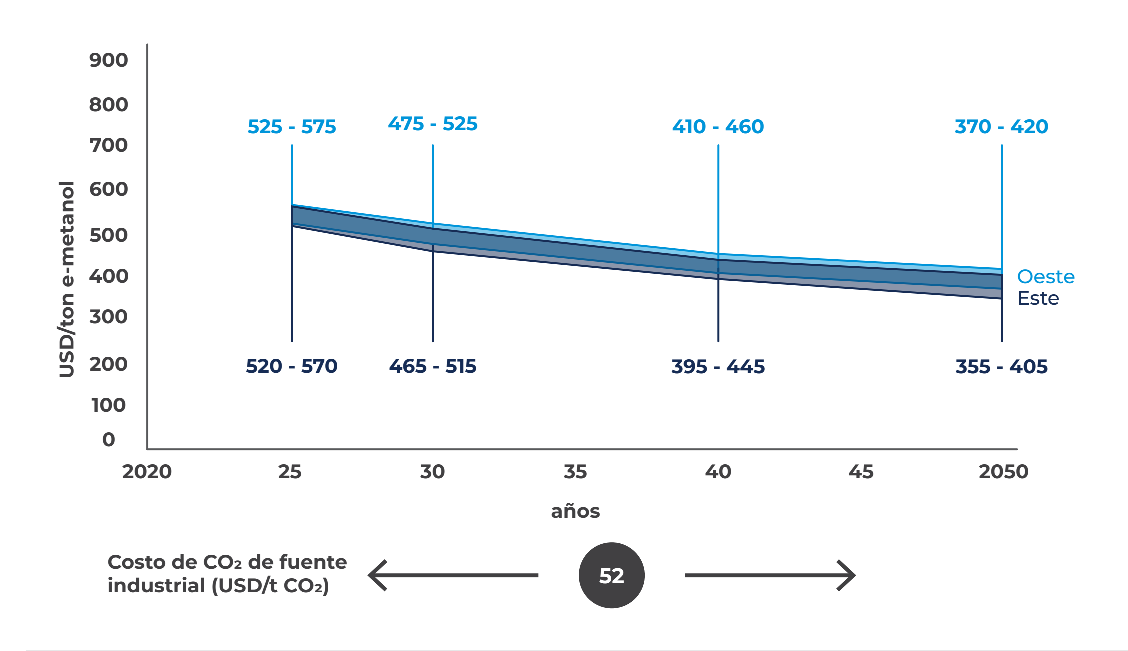


Figura 8a: CO_2 abastecido industrialmente: curva de costos de producción para e-metanol, (USD/ton e-metanol)
Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

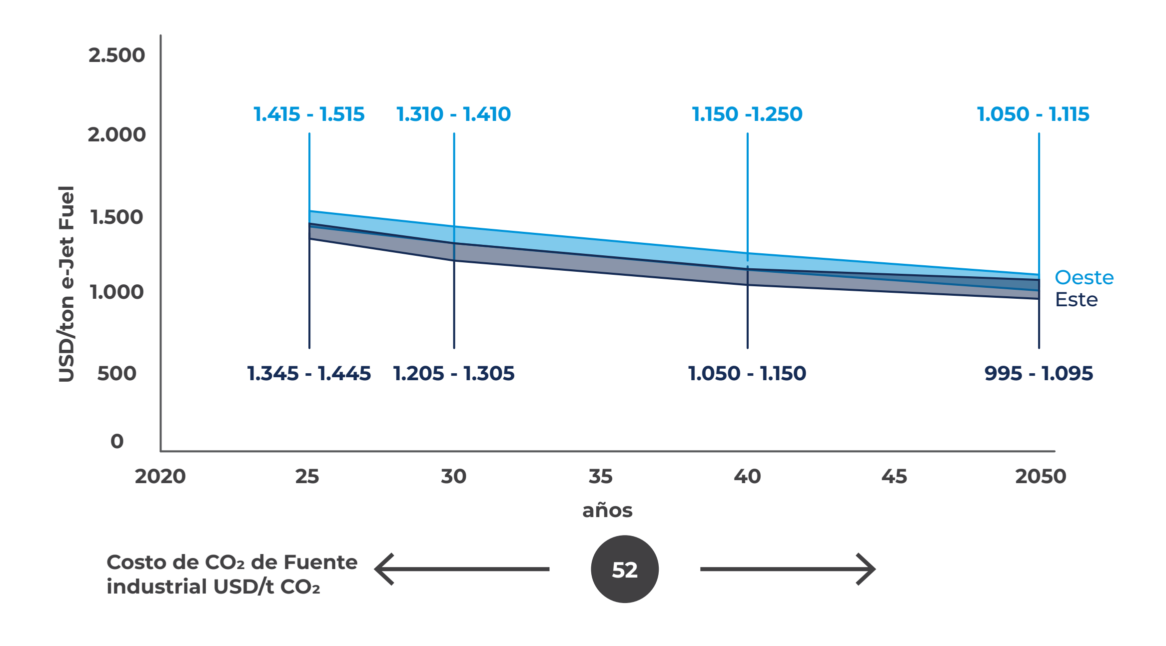


Figura 8b: CO_2 abastecido industrialmente: curva de costos de producción para jet Fuel, (USD/ton jet fuel).
Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.



6. Potencial del mercado **doméstico** y de **exportación**



6. POTENCIAL DEL MERCADO DOMÉSTICO Y DE EXPORTACIÓN

Uruguay presenta un muy buen potencial para un mercado exportador donde el país se destaca por la competitividad para producir combustibles y materias primas verdes que permitirán bajar el aporte al cambio climático de la industria en gral y de la marítima y de aviación en particular. Esto permitirá el desarrollo del mercado doméstico aportando a su desfosilización y sustitución de importaciones en el transporte terrestre y marítimo, así como la producción de fertilizantes.

6.1. Mercado doméstico

Se identifica que las principales oportunidades domésticas para el desarrollo del hidrógeno en Uruguay estarán traccionadas por aplicaciones costo-competitivas frente a alternativas fósiles u otras aplicaciones de bajas emisiones (por ejemplo, el desarrollo de vehículos pesados de uso intensivo), por aplicaciones afectadas por objetivos de descarbonización de diversos sectores de la industria (como el caso de los sectores marítimos y aéreos) y, finalmente, por aplicaciones afectadas por la regulación y/o incentivos locales (por ejemplo, la promoción del uso de fertilizantes verdes).

Para la determinación de las principales metas de la demanda interna se toman en cuenta los siguientes aspectos para los diferentes usos con potencial:

Transporte marítimo

Teniendo en cuenta los anuncios de actores internacionales y objetivos de descarbonización de la Organización Marítima Internacional (OMI), se proyecta un crecimiento de la demanda de combustibles de transporte marítimo, como el amoníaco o el e-metanol bajo en emisones. Se asume una penetración de 1% para buques de contenedores del mercado interno para el 2030 y de 9% para 2040.

Esto podría posicionar los puertos del país como parte de un potencial corredor verde para el transporte sostenible de mercaderías y hub para la región así como aportar a la descarbonización de otros sectores de actividad productiva a nivel nacional.

Fertilizantes

Considerando la intensidad del uso de fertilizantes en nuestro país y el hecho de que hoy en día, son de origen fósil y se importan casi en su totalidad; la posibilidad de crear una industria nacional de este insumo de origen renovable resulta interesante.

Las estimaciones preliminares de costo indican que aún existiría una brecha respecto a su competidor de origen fósil, la cual tenderá a mitigarse progresivamente con el desarrollo de las tecnologías y la madurez de los mercados. En este sentido, y atendiendo a los impactos sociales, ambientales y económicos que podrían generar en Uruguay estos desarrollos, es preciso analizar la pertinencia de incentivos transitorios específicos para este sector.



Transporte

Se asume, en el escenario más optimista, una penetración de vehículos a celdas de combustible con hidrógeno de transporte pesado de aproximada mente 3% para el 2030 y 35% para el 2040. Adicionalmente, el diésel verde obtenido como co-producto de la producción de combustibles de aviación, podría utilizarse sustituyendo el diésel de origen fósil en motores de combustión tradicionales. Esto podría potenciar la transición energética en el transporte sin cambios en la flota vehicular.

En un escenario referencial, y tomando en cuenta las metas propuestas, el desarrollo asociado al mercado doméstico implicaría una facturación de aproximadamente 60 millones de dólares en el 2030 y sería del orden de los 540 millones de dólares en 2040. A 2030, la oportunidad será impulsada por aplicaciones de transporte terrestre, marítimo y fertilizantes. Al 2040, la adopción de las aplicaciones de transporte terrestre y marítimo crecería hasta alcanzar una facturación anual de 430 millones de dólares. También se incrementarían las demandas de fertilizantes verdes, lo que puede reemplazar importaciones.

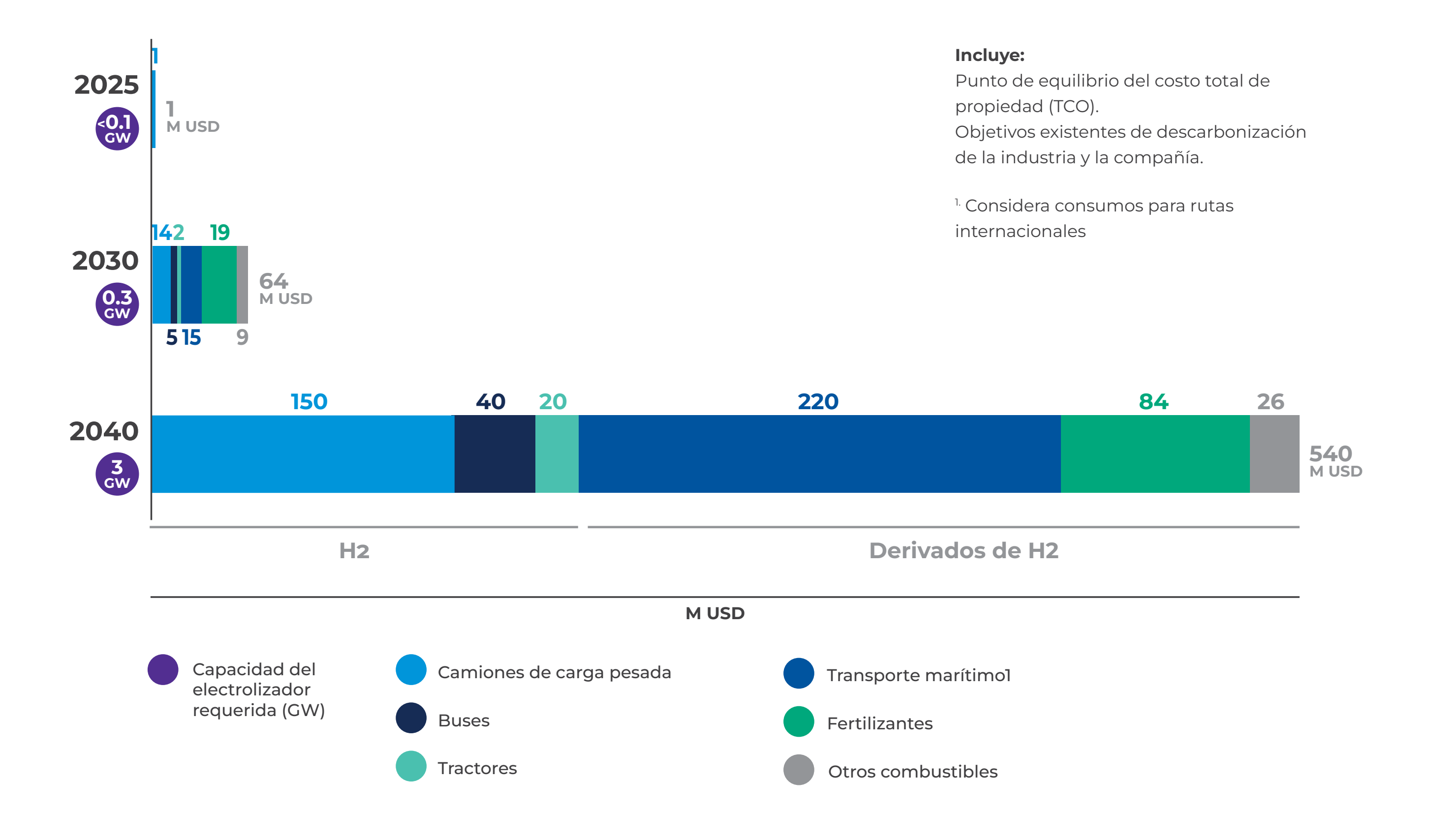


Figura 9: Demanda doméstica total (incluye calor de alto y mediano grado, aerolíneas [combustible para aviones], camiones de trabajo medio, montacargas y mezclas de gas.), M USD

Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.



6.2. **Mercado de exportación**

Las necesidades de importación por parte de los principales centros de demanda podrían concentrarse en cinco productos. Por un lado, se encuentra el hidrógeno, impulsado por la demanda en aplicaciones de transporte terrestre, como insumo para la industria (por ejemplo, siderúrgica y refinerías), así como para la generación de energía eléctrica y calor. La demanda del sector marítimo para alcanzar sus metas de descarbonización impulsa la producción de e-metanol y amoníaco (NH3), este último también, como insumo principal para fertilizantes bajos en emisiones. Adicionalmente, el e-Jet Fuel tendrá un rol importante, a impulso de las regulaciones del sector de aviación respecto a la incorpora ción de SAF (Sustainable Aviation Fuel). Finalmente se encuentra el hierro reducido (DRI, Direct Reduced Iron), debido a la demanda creciente de acero verde en el mundo, donde el hidrógeno es uno de los insumos principales.

Para Uruguay, el tamaño de la oportunidad de exportaciones de hidrógeno verde y productos derivados hacia los mercados europeos y USA, y dependerá de su competitividad relativa frente a países y regiones en posible competencia como Medio Oriente, Brasil, Chile y el norte de África. Esta competitividad puede variar según productos y destinos:

e-metanol y combustible de aviación

Uruguay presentaría costos en destino en línea con sus principales competidores, gracias a la complementariedad entre sus recursos renovables, el uso de una red descarbonizada y el acceso a un CO_2 biogénico obtenido a partir de procesos industriales y/o energéticos basados en residuos de biomasa sostenible.

Los siguientes productos se visualizan para el largo plazo, teniendo en cuenta las necesidades logísticas, económicas y de seguridad:

Amoníaco bajo en emisiones

En una primera instancia Uruguay presentaría una serie de desafíos, teniendo en cuenta los costos de producción y los aspectos de seguridad.

DRI

Uruguay presentaría costos de producción en línea con sus principales competidores. Dada la baja disponibilidad global de hierro de alta calidad, Uruguay contaría con una ventaja competitiva al disponer de hierro de muy buena calidad. Su procesamiento demandaría importantes cantidades de hidrógeno verde.

Producto hidrógeno

Uruguay presenta costos en destino (Estados Unidos y Europa), en línea con los principales competidores. El costo de transporte tendría un impacto menor en los costos en destino, y podría revertir diferencias en costos de producción entre países. La competitividad de la exportación a Europa se vería afectada (al igual que para todos los restantes países que integran el grupo de exportadores netos), de implementarse una interconexión física vía gasoducto desde el norte de África que permita el arribo de hidrógeno desde los países de esa región.

En función a los niveles de competitividad analizados, la disponibilidad de recursos y considerando un escenario más conservador (escenario base) respecto al volumen del mercado global proyectado para cada producto, se podría establecer una meta de captación del mercado proyectado de 3,5% (ver figura 10).



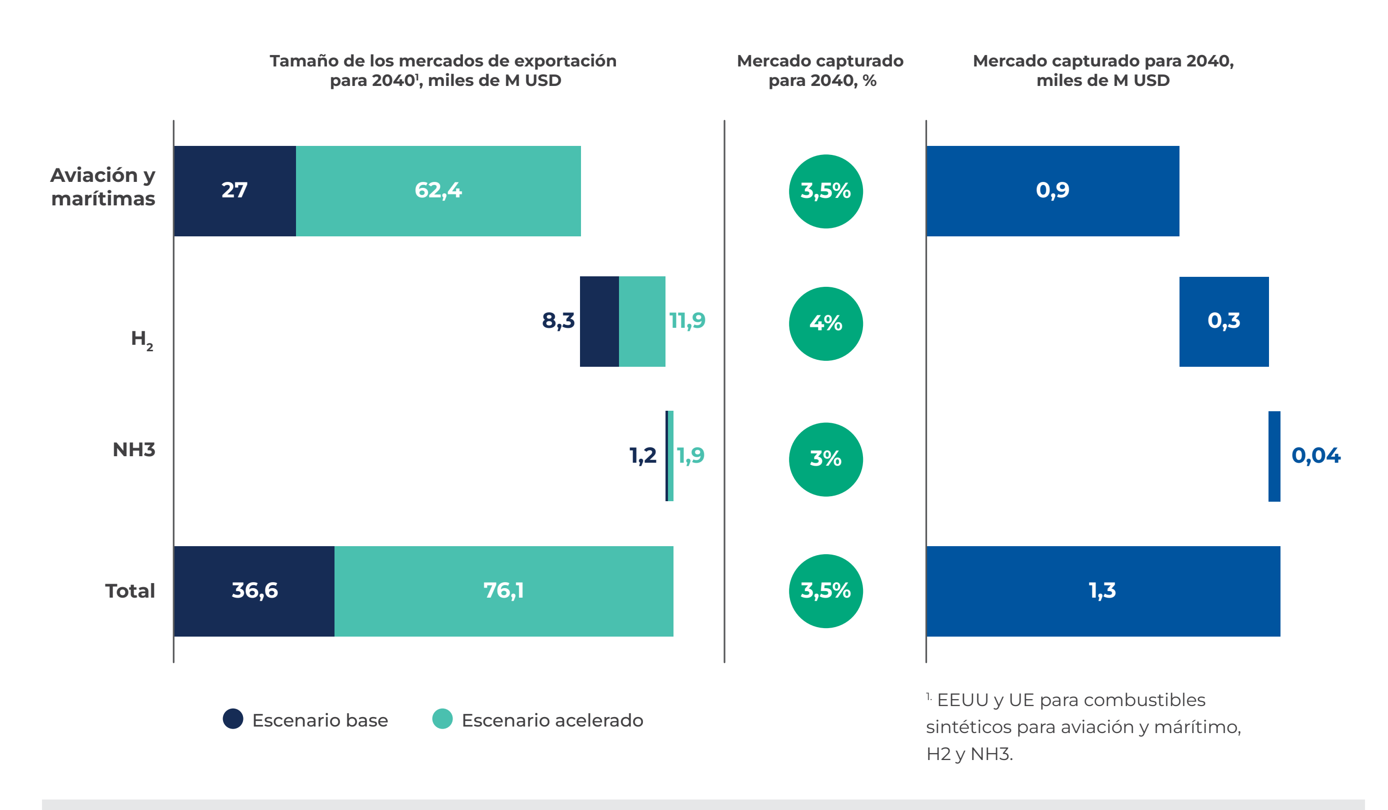


Figura 10: Captura de mercado de exportación propuesta para la hoja de ruta.
Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

José Ignacio / Garzón, Maldonado



Eso se traduce en que Uruguay tendría una oportunidad de exportación de aproximadamente 1300 millones de dólares al 2040, y de 95 millones de dólares al 2030. El combustible sintético representaría el 55% de esta oportunidad a 2040, mientras que el hidrógeno constituiría el 25% y el sector marítimo (amoníaco o e-metanol), un 15% (ver figura 11).

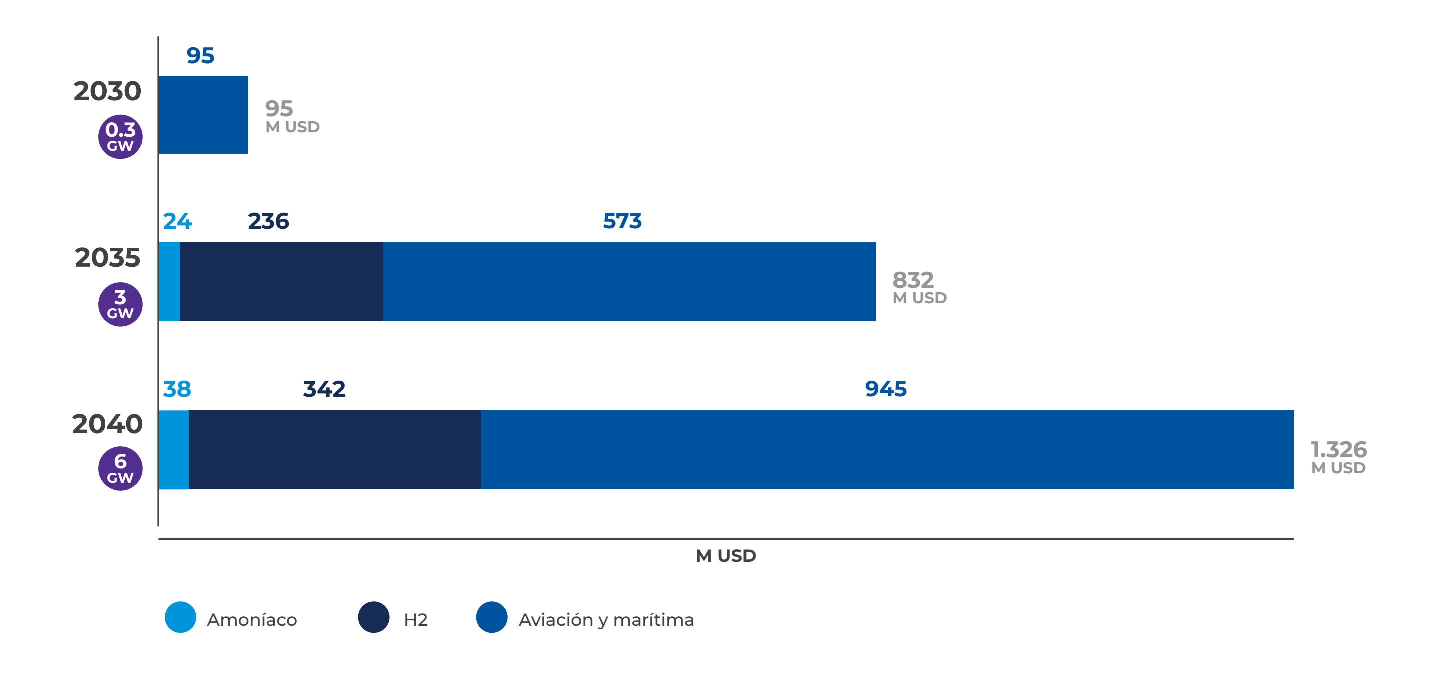


Figura 11: Oportunidad de exportaciones (M USD) a USA y Europa por aplicación.
Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

La explotación de las reservas de hierro para su transformación en DRI (con uso de hidrógeno verde) representa una oportunidad de exportación adicional para Uruguay, tenien- do en cuenta la disponibilidad del mineral de alta calidad en el país (nivel de concentración superior a 67%). Lo anterior representaría una facturación anual adicional de hasta 4100 mi- llones de dólares al año 2040. Con este propósi- to serán necesarios entre 5 y 6 GW adicionales de capacidad de electrolizador y 10-12 GW adicionales para generación de energía eléctrica a partir del 2035. Esta oportunidad requiere del desarrollo de infraestructuras portuarias en el este del país y de un mayor análisis, por lo que no se incluyen como metas en la presente hoja de ruta. Podrán incorporarse más adelante, luego de que los mercados vinculados al hidrógeno se encuentren en un mayor nivel de maduración y se haya avanzado el desarrollo de esta actividad a nivel nacional.



7.

Ambición 2040



7. AMBICIÓN 2040

Sobre la base de las ventajas competitivas presentadas, Uruguay tiene muy buenas condiciones para impulsar proyectos de combustibles sintéticos, materias primas y fertilizantes verdes basados en hidrógeno. Esto será un elemento clave para continuar impulsando el desarrollo sostenible. La hoja de ruta propone capitalizar estas oportunidades, dada la disponibilidad de recursos, las capacidades nacionales y la infraestructura existente, atendiendo a la madurez de los mercados de exportación del H2 y sus derivados.

Se prevé que las capacidades para el desarrollo de este nuevo sector de actividad se realice en tres fases:

Fase 1

Esta primera fase hasta 2025, tendrá como objetivo impulsar el desarrollo del mercado doméstico y sentar las bases para los primeros proyectos de exportación. Se avanzará en la implementación de la regulación específica a medida que se desarrolle la industria; en la ingeniería para las obras de infraestructura necesarias; y en la implementación de incentivos para los primeros proyectos y para la etapa posterior. Se realizarán estudios específicos para contar con información precisa en relación a los aspectos vinculados al uso de agua y de CO_2 biogénico de este sector.

En esta fase, será necesario hacer foco en la implementación de proyectos demostrativos, orientados a las aplicaciones más relevantes para el mercado doméstico (por ejemplo, transporte terrestre) y en la atracción de las primeras iniciativas de mayor escala, con foco en el mercado de exportación de derivados de hidrógeno.

Se evaluarán las capacidades que el desarrollo futuro de esta actividad demandará y se analizará la oferta existente a nivel nacional. Se diseñará, en conjunto con el sector académico, un programa tendiente a cubrir las brechas que se identifiquen.

Se impulsarán mecanismos para desarrollar la investigación e innovación a partir del Fondo Sectorial de Hidrógeno lanzado en el año 2022. En este marco, se fomentarán la construcción de los primeros proyectos piloto de producción y el uso de hidrógeno verde y derivados, así como la investigación en esta temática.

En esta fase se iniciará el estudio del potencial que podría tener la producción de hidrógeno con base en eólica offshore, como insumo para las fases 2 y 3.

Asimismo, se analizará el aporte que podría realizar para lograr completar la descarbonización del sistema eléctrico del país y como potenciar el uso de las infraestructuras existentes en nuestro sistema energético nacional (tanto de UTE como de ANCAP).

Fase 2

De 2026 a 2030, tendrá como objetivo escalar el mercado doméstico (demanda y proyectos), así como tener en operación los primeros proyectos para exportación (como el e-metanol). Para ello, será necesario analizar las necesidades de



desarrollo de infraestructura de soporte necesaria (por ejemplo, ductos y líneas de transmisión), procurando hacerlo de forma planificada y apuntando a optimizar las instalaciones a nivel país. La implementación de los incentivos tendrá foco en la atracción de inversiones a través de, por ejemplo, la mejora de competitividad en costos y el estímulo de la demanda interna. a partir de lo cual se lograría la generación de un nuevo sector industrial, con creación de empleo y sustitución de importaciones entre otros.

Fase 3

Durante la fase 3, del 2030 en adelante, se deberá confirmar la ambición al 2040. En esta etapa se consolidará el desarrollo del mercado doméstico. La definición previa que se realice respecto a las necesidades de infraestructuras logísticas o portuarias, o a la producción offshore en la costa atlántica, podrá permitir un mayor desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados. Se podrá escalar hacia la producción y exportación de productos como el hidrógeno verde y el amoníaco verde.



Fases hoja de ruta.	Fase 1 (2022 - 2025): Desarrollar regulación; desarrollar primeros proyectos piloto; atraer los primeros proyectos a escala de exportación.	Fase 2 (2026 - 2030): Expansión nacional; inicio de los primeros proyectos a escala de exportación.	Fase 3 (+2030): Mercado nacional a gran escala; crecimiento acelerado de exportaciones.
Detalles generales del proyecto.	+1-2 proyectos pequeña escala implementados, proyectos a mediana escala en desarrollo.	+3-4 proyectos de mediana escala (100-200 MW)	+ proyectos a escala mayor.
Producción (producción de energía e hidrógeno).	• 200- 400 MW de capacidad energética de RES en desarrollo. • ~20 MW de capacidad de producción H_2 para pequeña escala y 100-200 MW en desarrollo.	• 1-2 GW de capacidad de alimentación de RES. • Aprox. 1 GW de capacidad de producción H_2.	• ~18 GW de capacidad de RES. • ~9 GW de capacidad de producción de H_2 y derivados.
Demanda (usos finales en movilidad, industria y energía).	• +1-2 proyectos pequeña escala implementados en casos de usos transporte (camiones pesados, buses de larga distancia, vehículos agrícolas). • +1 proyecto en desarrollo combustibles, materias primas o fertilizantes verdes.	• ~1-2 proyectos a mediana escala en desarrollo para combustibles, materias primas o fertilizantes verde • + Proyectos domésticos: fertilizantes, transporte terrestre y marítimo	• ~3-4 proyectos a escala mayor en desarrollo para exportaciones de combustibles, materias primas o fertilizantes verdes, H_2 y NH_3. • + Proyectos para mercado interno (ej. transporte, marítimo, fertilizantes verdes).
Infraestructura y logística (ductos, almacenamiento, puertos).	• Establecer un plan de infraestructura vinculada a aspectos logísticos como ductos, líneas de transporte y puertos, promoviendo sinergias. • Desarrollar solución portuaria para exportación de combustibles, materias primas o fertilizantes verdes en Montevideo.	• Ejecutar el plan de infraestructura. • Adecuación del puerto de Montevideo a necesidades identificadas en la primera fase.	• Continuar la implementación del plan de infraestructura.
Mecanismos clave necesarios: (1) Regulación. (2) Incentivos. (3) Acuerdos bilaterales. (4) Licencia social. (5) Generación de capacidades.	(1) Desarrollar regulación, así como normas de técnicas de seguridad y calidad. (1) Elaborar guías ambientales y de ordenamiento territorial. (1) Sistematizar procesos de obtención de permisos y licencias. (2) Diseñar estructura de incentivos para las inversiones. Implementar apoyo financiero para los pilotos. (3) Establecer acuerdos internacionales para promover inversiones, generación de conocimiento, la implementación de pilotos y el desarrollo de I+D. (5) Generar conocimiento y divulgar información garantizando el desarrollo local sostenible mediante un proceso participativo. (5) Coordinar y diseñar programas de generación de capacidades para el sector público, privado y académico.	(1) Implementar y continuar desarrollando regulaciones vinculadas al hidrógeno verde y derivados. (2) Implementar incentivos enfocados en atracción de inversiones, competitividad de costos y estímulo a la demanda interna. (3) Efectivizar la cooperación internacional a lo largo de la cadena de valor y el desarrollo de proyectos a escala. (4) Crear conciencia nacional del potencial del hidrógeno verde y derivados, teniendo en cuenta aspectos económicos, sociales y ambientales. (5) Implementar programas de desarrollo de capacidades con el sector público, privado y académico.	• Continuar identificando y desarrollando mecanismos necesarios para el desarrollo del hidrógeno verde y derivados en los 5 ejes planteados.

Figura 12: Fases y actividades de la hoja de ruta del sector H2 en Uruguay.
Fuente: (McKinsey & Company, 2021) de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

El mercado doméstico y las exportaciones de hidrógeno verde y productos derivados representan una oportunidad de facturación anual estimada en 160 millones de dólares por año a 2030 y de 1900 millones de dólares para Uruguay a 2040 (ver figura 13).



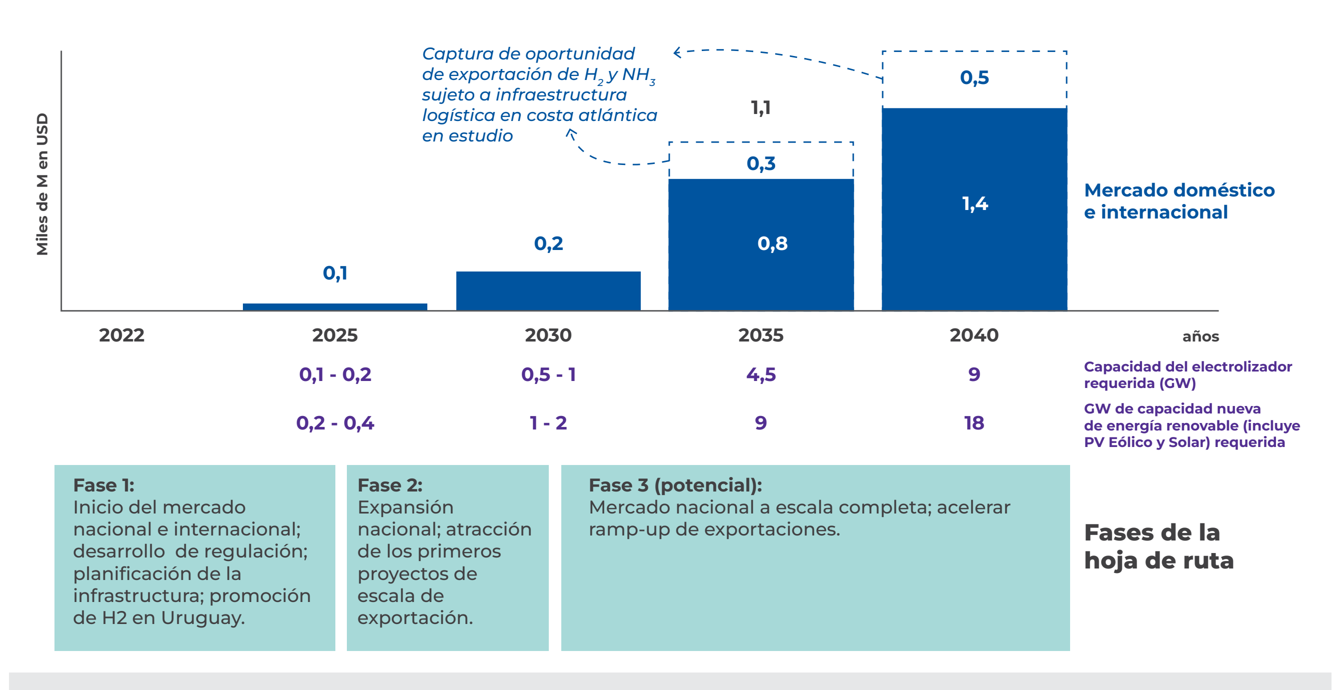


Figura 13: Metas y proyecciones del mercado uruguayo de hidrógeno y derivados: 2025-2040.
Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID

Estas fases y las metas asociadas pueden verse reflejadas en el siguiente cronograma de crecimiento:

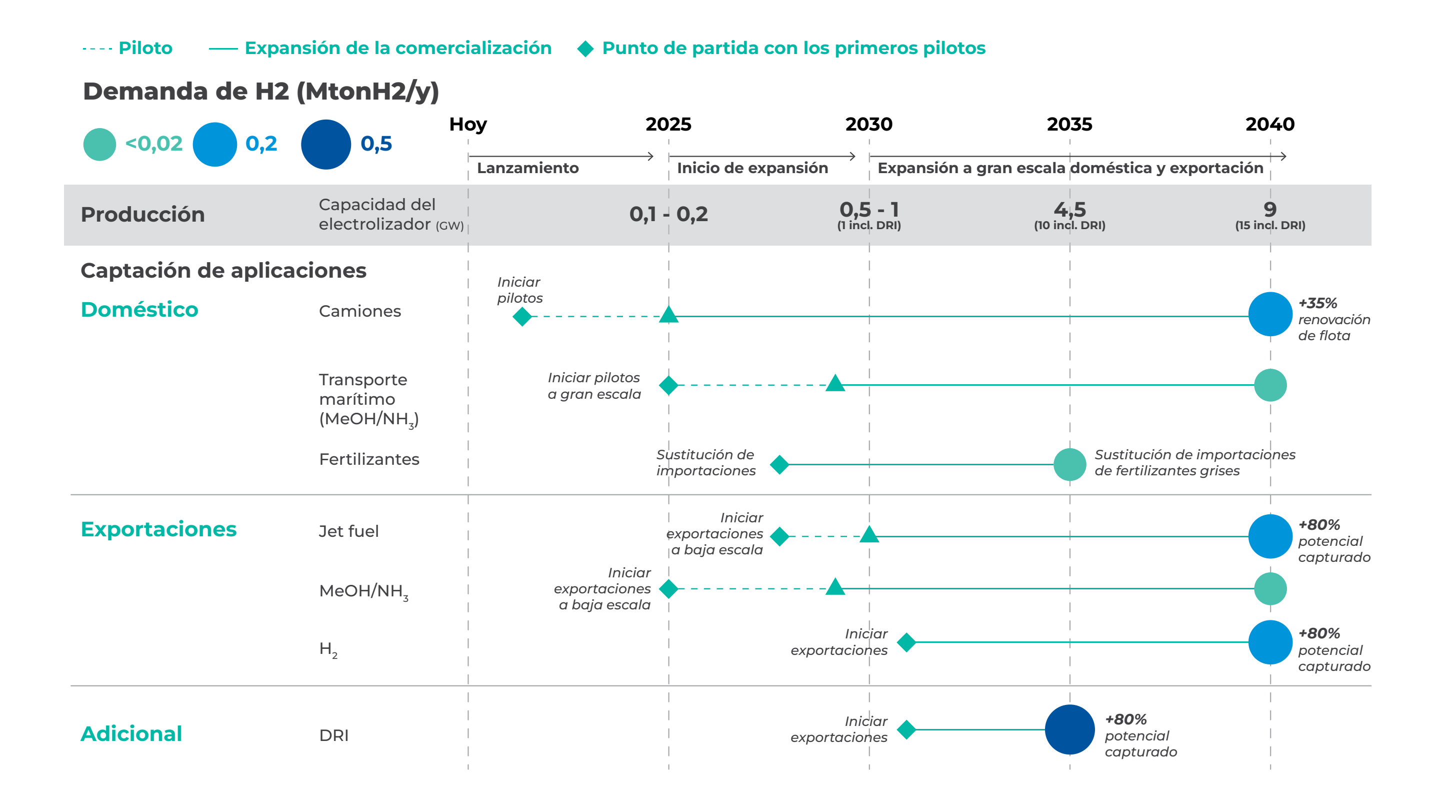


Figura 14: Cronograma de desarrollo.
Fuente: Adaptado de McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.



La concreción de la oportunidad mencionada de 1900 millones de dólares por año implica a su vez impactos socioeconómicos relevantes para Uruguay. En lo económico, la facturación anual de esta industria podrá ser del orden de la exportación de los principales productos agroindustriales del país, generar más de 30 000 empleos directos y evitar 6 $MtCO_2$ de emisiones a 2040 (ver figura 15).

Objetivo	Indicador	2030	2040
Construir la base para el crecimiento del país a largo plazo	Facturación anual en miles de M USD	0,2	1,9
	Facturación potencial sobre PIB futuro proyectado	+0,3%	+2%
Crear +30K trabajos calificados: técnicos especializados, operadores e ingenieros	Empleos creados en miles	+3	+30
	Inversión total acumulada en miles de M USD	1,6	18
Eliminar el equivalente de las emisiones netas de Uruguay para 2040	$MtonCO_2$ emisones anuales reducidas	0,6	6

Fig 15: Impactos socioeconómicos y ambientales del desarrollo del sector hidrógeno verde en Uruguay (sin incluir oportunidad DRI).

Fuente: Adaptado de McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

Esta oportunidad permitirá diversificar la matriz productiva nacional, al aumentar el valor agregado a través de la incorporación de un nuevo eslabón industrial. Permitirá diversificar la oferta exportadora del Uruguay, abriendo posibilidades a nuevos mercados a nivel mundial.

Asimismo, se obtendría una disminución de la dependencia de combustibles fósiles importados, aportando a la descarbonización de otros sectores industriales a nivel nacional, y se fortalecerá el posicionamiento como país sostenible.

8. **Identificación de riesgos** para el desarrollo del sector



8. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR

Se identificaron algunos elementos a tener en cuenta y atender debidamente, de modo de impulsar un desarrollo integral y responsable de la industria de hidrógeno verde y derivados. Se han detectado 13 riesgos principales, agrupados en cuatro categorías.

Riesgo	Métrica de evaluación clave
Riesgos tecnológicos	
01 El desarrollo y la disminución de costos de los electrolizadores e infraestructura de energías renovables, son más lentos de lo esperado.	Precios de electrolizadores y renovables.
02 Aparecen tecnologías innovadoras / alternativas más competitivas (ej. baterías).	Informes tecnológicos de foros públicos internacionales.
Riesgos de mercado	
03 Adopción más lenta de lo esperado del hidrógeno verde y derivados por industria y países.	Anuncios regulatorios y de la industria / cumplimiento para mercados objetivo.
04 Menores impuestos al carbono de lo esperado.	Precios y proyecciones de petróleo y gas natural.
05 Menores precios del petróleo / gas natural.	
06 Mayor capacidad de producción local en mercados clave o de competidores.	Proyectos relacionados con H_2 / anuncios de capacidades de producción por región.
Riesgos políticos / sociales	
07 Baja aceptación de infraestructuras nuevas.	Retrasos versus plan de implementación.
08 Limitación de la aplicación de incentivos a la demanda (p. ej., impuesto al carbono, mandatos).	Encuestas de opinión pública.
09 Cuestionamiento referido al uso del agua y su disponibilidad para distintos usos.	
Riesgos de ejecución / competitividad local	
10 Riesgo país más alto de lo previsto para inversiones.	Prima de riesgo del país.
11 Menor competitividad de renovables de lo esperado (factores de capacidad, complementariedad).	Indicadores operacionales (factores de capacidad, utilización y costos) de los pilotos.
12 Ejecución de infraestructura más lenta de lo esperado.	Penetración/participación de vehículos de celda de combustible.
13 Desarrollo más lento del ecosistema de transporte doméstico.	

Fig 16: Identificación de 13 riesgos agrupados en cuatro aspectos: tecnológicos, de mercado, político-sociales y de ejecución/competitividad.

Fuente: Adaptado de McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.



A continuación se presentan seis riesgos con mayor probabilidad de ocurrencia e impacto a nivel nacional, y se plantean estrategias de mitigación:

Probabilidad (Alto / Bajo)

Matriz: 08, 09, 06, 07, 02, 12, 13, 11, 05, 01, 10, 03, 04

Bajo — Alto

Impacto en la oportunidad para Uruguay

- **Riesgos tecnológicos**
- **Riesgos de mercado**
- **Riesgos políticos / sociales**
- **Riesgos de ejecución / competitividad local**

Riesgo	Descripción	Estrategias de mitigación
02	*Aparecen tecnologías innovadoras/ alternativas.*	**· Monitorear la evolución de las principales tecnologías competitivas (ej. costos de baterías).**
06	*Mayores capacidades de producción local en mercados clave o de competidores.*	**· Establecer relaciones tempranas de oferta y demanda para el largo plazo.**
07	*Baja aceptación de infraestructuras nuevas.*	**· Crear conciencia nacional y del potencial del hidrógeno verde y sus derivados.** **· Ejecutar proceso de participación temprana.**
9	*Cuestionamiento referido al uso del agua y su disponibilidad para distintos usos.*	**· Asegurar un proceso participativo.** **· Generación de insumos técnicos.** **· Divulgación de información.**
12	*Ejecución de infraestructura más lenta de lo esperado.*	**· Asegurar un plan de desarrollo de infraestructura, incluyendo tiempos de atención de procesos.** **· Construir una unidad de gestión de proyecto para el control de procesos.**
13	*Desarrollo más lento del ecosistema de transporte interno.*	**· Asegurar la coordinación a lo largo de la cadena de valor.** **· Desarrollar incentivos sobre competitividad de costos y demanda.**

Figura 17: Estrategias de mitigación de los principales seis riesgos identificados, con base en su probabilidad e impacto.
Fuente: Adaptado de McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

El mercado y la evolución de la industria vinculados al desarrollo del hidrógeno verde son muy dinámicos y pueden impactar sobre algunos proyectos. Es preciso generar procesos de monitoreo sobre la evolución de las tecnologías y sus costos.

Otro riesgo identificado se vincula con el posicionamiento de nuevos competidores en mercados claves, que ejercen presión desde la oferta. En este sentido, es fundamental establecer relaciones tempranas de oferta y demanda para el largo plazo. Además, un aspecto que podría llegar a impactar sobre el desarrollo de la industria es la dificultad de generar la infraestructura necesaria a tiempo. Se avanzará en el análisis y propuesta de un plan de desarrollo de infraestructura, articulando con los distintos actores del sector político.



9. Construcción de una **política de estado**



9. CONSTRUCCIÓN DE UNA POLÍTICA DE ESTADO

El Estado tendrá un rol clave como coordinador, impulsor y responsable de asegurar una gestión sostenible e integrada de la economía del hidrógeno verde en todo el territorio nacional. Debe asegurar el uso de los recursos locales de manera eficiente, promoviendo el diálogo y creando un entorno que permita un desarrollo a largo plazo que beneficie a toda la población, agregando valor localmente.
A través del Programa H2U se abordarán diversos aspectos, como la infraestructura, la economía, el ambiente, la cultura y el bienestar social, articuladamente con gobiernos locales, organizaciones no gubernamentales, empresas, sector académico y la comunidad en sí.

9.1. **Programa H2U**

Para impulsar la hoja de ruta propuesta, el país se encuentra desarrollando el Programa H2U (resolución presidencial 294/2022), que apunta a asegurar una coordinación, planificación y articulación integrada y sostenible en todo el territorio para el desarrollo de la economía del hidrogeno y derivados a nivel nacional.

Se crea el grupo interinstitucional de hidrógeno verde con participación de 7 ministerios, la OPP y 8 organizaciones del Estado, bajo la coordinación del MIEM.

El programa propone 5 ejes de trabajo a desarrollar junto a los gobiernos locales, organizaciones no gubernamentales, empresas, sector académico y la comunidad en sí.

9.2.1 Generación de capacidades

La generación de capacidades locales es un elemento clave para potenciar el desarrollo del hidrógeno verde y evitar posibles brechas entre oferta y demanda a nivel de personal para las áreas operativas, técnicas y de ingeniería. Se deberán reforzar las capacitaciones en energías renovables, y en particular en las tecnologías vinculadas al hidrógeno, agregando mayor valor local.

Las mayores necesidades relacionadas con las capacidades locales existentes y potencialmente demandadas se identifican en los aspectos vinculados a los electrolizadores y la producción de derivados; en este caso, resulta necesaria, particularmente, una mayor formación de expertos en la materia.

Se tendrán en cuenta los aspectos de género de forma de brindar igualdad de oportunidades y disminuir posibles brechas existentes.

La formación profesional y la especialización se potenciarán hacia una educación terciaria enfocada en el hidrógeno y sus derivados. En articulación con el Consejo Nacional de Innovación Ciencia y Tecnología (CONICYT) se buscará desarrollar un programa que permita generar las capacidades a nivel científico-técnico.

El Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), ANII, y el Laboratorio Tecnológico Uruguayo (LATU) crearon el Fondo Sectorial de Hidrógeno Verde, con el objetivo de financiar proyectos de investigación, innovación y formación en esta temática. En este marco, el Gobierno de Uruguay a través de ANII, realizó un llamado abierto para desarrollar los primeros proyectos piloto de hidrógeno verde y derivados.

Asimismo, a través del Fondo Sectorial de Energía se apoyan proyectos de investigación vin-



culados a la economía del hidrógeno y se impulsarán otras acciones como la movilidad de investigadores entre países para seguir promoviendo el conocimiento a nivel académico.

Se deberá continuar desarrollando programas y acciones que permitan potenciar la investigación nacional y la innovación en el tema.

9.2.2 Regulación

El país, a partir de la experiencia generada en el proceso de incorporación de energías renovables y otros proyectos de gran porte, cuenta hoy con las capacidades y mecanismos vinculados a los procesos de solicitud de permisos y autorizaciones ambientales requeridas para el desarrollo de proyectos relativos al hidrógeno verde y sus derivados; se trabajará en reforzar y potenciar estas capacidades en los aspectos específicos vinculados al H2.

Cabe destacar las potestades otorgadas a la Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua (URSEA), en el artículo 150 de la Ley de Rendición de Cuentas n.° 19 996 del año 2021, quién regulará lo relativo a la producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno verde y derivados. Ya se ha comenzado a avanzar en la regulación de seguridad en lo que refiere a este vector energético y sus derivados.

Por otra parte, se avanzará en aspectos vinculados a la gestión de servidumbres para redes de transmisión eléctrica y gasoductos. Será necesario evaluar esquemas posibles vinculados a los peajes por el uso de las redes de transmisión de energía (teniendo en cuenta el potencial que presenta su alto porcentaje de energía renovable).

A medida que se vaya avanzando, se irán identificando las barreras existentes y la necesidad de impulsar nuevos incentivos o regulaciones, que se irán ajustando a las oportunidades y desafíos del sector.



9.2.3 Inversiones

Los proyectos de hidrógeno verde y derivados generarán inversiones e innovación que podrán ser motor del desarrollo local en todo el territorio.

Se tendrán en cuenta temas claves para el desarrollo del hidrógeno verde y derivados, tanto para consumo local como con destino a la exportación, en particular aquellos vinculados con la creación de incentivos y otros mecanismos que promuevan el agregado de valor local.

Actualmente ya se encuentran implementados incentivos específicos en el marco de la Ley n.º 16 906 de Inversiones y Promoción Industrial y exoneraciones arancelarias.

El impulso del hidrógeno y derivados, tanto para el mercado local como para exportación, requiere de la mayor articulación y cooperación entre países. Las alianzas con países con perfil importador de hidrógeno y derivados, permitirá contar con apoyo para el abordaje de los aspectos regulatorios y la generación de talento, así como en facilitar inversiones.

Por otra parte, se considera de relevancia buscar cooperación regional que impulse sinergias entre países y armonice los requisitos que surjan a nivel internacional. Algunos países ya han presentado sus hojas de ruta, como Chile, Colombia, Costa Rica, Brasil y Argentina entre otros. Tomará especial relevancia coordinar regionalmente los aspectos de certificación, de forma de buscar sistema armonizados y acordes a las posibilidades de cada uno de los países como de los mercados de exportación.

9.2.4 Infraestructura

Uruguay cuenta con la infraestructura necesaria para que los primeros proyectos de hidrógeno verde y derivados comiencen a operar. En este sentido, el puerto de Montevideo tiene la oportunidad de desarrollar de forma temprana la exportación de combustibles sintéticos, materias primas y fertilizantes verdes. Por otra parte, la vía del Ferrocarril Central permite conectar la zona de mayor potencial de energías renovables con el puerto de Montevideo, brindando muy buenas oportunidades para el transporte de los derivados de hidrógeno y facilitando sus posibilidades de exportación. Asimismo, para el transporte local se cuenta con vías fluviales y carreteras con acceso a todo el país que también conectan con el puerto de la capital.

Parte de las infraestructuras que deben desarrollarse se vinculan con la instalación de nuevas redes de transmisión eléctrica, gasoductos y eventualmente adaptaciones portuarias además de las plantas de generación de energía eléctrica renovable.

Estos aspectos serán evaluados y articulados junto con los distintos actores vinculados al sector, para definir los distintos pasos a seguir.

La ejecución de infraestructuras portuarias para buques de mayores calados o la búsqueda de otras soluciones logísticas offshore, se analizará al inicio de la segunda fase de desarrollo de la hoja de ruta, con el objetivo de evaluar la forma más conveniente de capturar la oportunidad de exportaciones de hidrógeno, amoníaco y eventualmente DRI, en el largo plazo. Asimismo, se iniciará un análisis del proceso de reconversión de las centrales térmicas de generación de energía eléctrica de UTE, para sustituir el uso de combustibles derivados del petróleo por combustibles derivados del hidrógeno verde, contribuyendo al proceso de descarbonización de la matriz de generación de energía eléctrica del Uruguay, en la segunda transformación energética.

Se analizarán vías de colaboración con países de la región, para hacer viable la exportación de hidrógeno y derivados producidos en sus territorios, mediante la utilización de infraestructura local, particularmente los puertos uruguayos.



La producción de hidrógeno offshore se encuentra en fase de desarrollo por parte de distintas empresas a nivel global. Dado el potencial de energía eólica en el Atlántico, y con una mirada en el largo plazo, se estudiará el potencial de este recurso en el espacio marino, articulando acciones junto con ANCAP e intuiciones con competencias en el área marítima para su desarrollo.

9.2.5 Diálogo ciudadano

Se impulsará una comunicación transparente y activa hacia la ciudadanía, en la que se utilizarán los mecanismos ya existentes a nivel nacional y otros específicos que se identifiquen como necesarios. Se procurará desarrollar una estrategia que promueva un diálogo ciudadano, mediante contenidos y formas de comunicación que permitan un mejor entendimiento de la tecnología y sus beneficios a nivel local, así como del aporte hacia los desafíos de descarbonización que se tienen a nivel global.

Se buscará crear espacios donde se pueda intercambiar respecto a las preocupaciones que se generen en el territorio y poder integrarlos a las actividades a desarrollar.

Se deberá mantener informada a la población sobre los avances que se vayan realizando, con especial cuidado en aquellos actores particularmente involucrados en cada caso. Se impulsarán instancias periódicas de difusión sobre los avances del desarrollo de la economía del hidrógeno verde y derivados.



Componente	Responsables y posibles alianzas	Actividades
GENERACIÓN DE CAPACIDADES	MIEM, academia nacional: universidades, UTU, CONYCIT, ANII, AUCI, entre otros.	• Identificación de brechas y hoja de ruta para la formación profesional y técnica. • Capacitación continua. • Fondo Sectorial de Hidrógeno, Fondo Sectorial de Energía, convocatoria a proyectos con apoyo del Estado y a proyectos de investigación e innovación. • Alianzas con la cooperación internacional para la generación de capacidades y aspectos de comunicación internacional.
REGULACIÓN	MIEM, URSEA, MVOT, MTOP, MA	• Regulaciones de seguridad y calidad. • Guías ambientales, estudios vinculados al uso del agua • Certificaciones regionales. • Directrices para uso de suelo y servidumbre para gasoductos y transmisión eléctrica. • Acciones que permitan realizar seguimiento de los desarrollos tecnológicos (antena tecnológica).
INVERSIONES	MIEM, MEF, MA, MRREE, OPP, Uruguay XXI, UTE, ANCAP, ANDE	• Acceso a datos e información. • Incentivos fiscales, apoyo en la gestión de permisos y posicionamiento a nivel internacional. • Aspectos vinculados al sistema eléctrico nacional. • Prospección y evaluación de producción de hidrógeno verde en el espacio marino para eventual desarrollo futuro.
INFRAESTRUCTURA	MIEM, MTOP, MDN, MA, OPP, ANP, ANCAP, UTE	• Aspectos portuarios, redes de transmisión eléctrica, gasoductos, uso de vía férrea, transporte fluvial. • Estudios para identificar las mejores áreas del país para los distintos componentes de la cadena de valor de los derivados de H2. • Aspectos vinculados al desarrollo del "térmico verde" en centrales de generación térmica de UTE
DIÁLOGO CIUDADANO	MIEM, MA, Sociedad civil.	• Diseño e implementación de un plan nacional de comunicación y participación ciudadana. • Generación de información confiable y accesible para la población. • Difusión periódica y transparente de avances.



10.

Referencias



10. **REFERENCIAS**

Airbus. (2022). ZEROe Towards the world's first zero-emission commercial aircraft. Obtenido en http://www. airbus.com/en/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). Hidrógeno Verde: un paso natural para Uruguay hacia la descarbonización. Montevideo.

Banco Mundial. (2020). Off shore wind technical potential in Uruguay. Washington.

Boeing. (2022). Boeing Buys Two Million Gallons of Sustainable Aviation Fuel for its Commercial Operations. Obtenido en https://boeing.mediaroom.com/2022-02-07-Boeing-Buys-Two-Million-Gallons-of-Sustainable- Aviation-Fuel-for-its-Commercial-Operations.

British Petroleum. (2022). BP sets ambition for net zero by 2050, fundamentally changing organisation to deliver. Obtenido en http://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bernard- looney-announces-new-ambition-for-bp.html.

Comisión Europea – Acción Climática. (2022). European Climate Law. Obtenido en https://ec.europa.eu/ clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en.

Foro Económico Mundial. (2021). Fostering Effective Energy Transition 2021, World Economic Forum. En prensa.

Freedom House. (2022). Expansión de la libertad y la democracia. Obtenido en https://freedomhouse.org.

General Motors. (2022). Reducing Carbon Emissions. Obtenido en https://www.gmsustainability.com/ priorities/reducing-carbon-emissions.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2019). Manejo del Riego y Productividad del Agua en el cultivo de arroz en el Uruguay. Serie técnica INIA Arroz, 49-52.

International Renewable Energy Agency. (2020). Green Hydrogen: A guide to policy making. Abu Dhabi.

IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C.An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of clim. En prensa.

Maersk. (2022). A.P. Moller - Maersk accelerates fleet decarbonisation with 8 large ocean-going vessels to operate on carbon neutral methanol. Obtenido en http://www.maersk.com/news/articles/2021/08/24/ maersk-accelerates-fleet-decarbonisation.

McKinsey & Company. (2021). Insumos para la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde del Uruguay. Montevideo: Banco Interamericano de Desarrollo.

McKinsey & Company. (2022). The net-zero transition: What it would cost, what it could bring by McKinsey.

Mercados Energéticos Consultores S.A. (GME) (2023) - Planta Piloto de Ingeniería Química (PALPIQUI). Consultoría: "Análisis de la disponiblidad de CO_2 para la producción de derivados de H2 verde en Uruguay". International PtX Hub – GIZ.

Ministerio de Ambiente Uruguay. (2021). Estrategia Climática de Largo Plazo, 2021 Uruguay. Montevideo.



Ministerio de Ganaderia, Agricultura y Pesca. (2021). Encuesta de arroz, zafra 2020-2021. Montevideo: Serie encuestas N.° 367.

Ministerio de Industria, Energía y Minería Uruguay. (2021). Balance Energético Nacional. Montevideo.

Naciones Unidas, Cambio Climático. (2022). Obtenido en http://www.unfccc.int.

Naciones Unidas, índice de Desarrollo de e-gobierno. (2022). e-Government Development Index. Obtenido en https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Data/Country-Information/id/185-Uruguay.

Presidencia de la República, Uruguay. (2021). Objetivo de Desarrollo Sostenible, Informe Nacional Voluntario 2021. Montevideo.

Proyecto de Justicia Mundial. (2021). World Justice Project (WJP) Rule of Law Index® 2021 report. Washington.

Renewables - REN 21. (2021). Renewables 2021 Global Status Report. Paris.

Shell. (2022). Our climate goals. Obtenido en http://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/ our-climate-target.html#iframe=L3dlYmFwcHMvY2xpbWF0ZV9hbWJpdGlvbi8.

Sociedad de Productores Forestales del Uruguay. (2022). Uruguay tiene un 100% de su producción forestal sostenible. Obtenido en https://www.spf.com.uy/category/pefc.

Transparencia Internacional. (2022). Country Data. Obtenido en https://www.transparency.org.

Unidad de Inteligencia de The Economist. (2021). Índice de Democracia. The Economist Intelligence Unit. Londres.

World Energy Council 2021. (2021). Decarbonised hydrogen imports into the European Union: challenges and opportunities. Evento virtual.



Hoja de ruta del **hidrógeno verde y derivados** en Uruguay



Octubre 2023